# کاربرد علوم در قبله یابی

## نگرشی نو در تعیین قبله

نوشتهٔ
ماشاءالله علی احیائی

بسم الله الرحمن الرحيم

# کاربرد علوم در قبله‌یابی
# نگرشی نو در تعیین قبله

نوشته

ماشاءالله علی‌احیائی



مؤسسهٔ انتشارات امیرکبیر
تهران، ۱۳۶۷



علی‌احیائی، ماشاءالله
کاربرد علوم در قبله‌یابی نگرشی نو در تعیین قبله
چاپ اول، ۱۳۶۷
چاپ و صحافی چاپخانهٔ سپهر تهران
تیراژ: ۳۳۰۰ نسخه

# فهرست مندرجات

| عنوان | صفحه |
| --- | --- |

تقدیم به‌مقام والای استاد و معلم و هر که مرا آموخت،
تقدیم به‌دانشجویان و دانش‌پژوهان
و تقدیم به‌تمام کسانی که در نشر دانش سهیم‌اند.

## به نام خدا

# پیشگفتار

مدتی پیش کتابی تحت عنوان **جهت‌یابی و قبله‌یابی با روشهای آسان** از طرف مؤسسهٔ انتشارات امیرکبیر منتشر شد. موضوع جهت‌یابی و قبله‌یابی، با همهٔ آسانی آن، حاوی نکات دقیق و قابل تأملی است که جمع کردن همهٔ آنها در کتاب مذکور ممکن نبود، چه، بعنوان شروع کار می‌بایست فقط مطالب عمومی موضوع، مورد بررسی قرار می‌گرفت.

در کتاب حاضر، مسئلهٔ قبله یابی، با نگرشی نومورد بررسی قرار گرفته و کاربرد رشته‌های متعدد علوم در قبله‌یابی تشریح شده است.

بشر از قرنها پیش، جهات را با استفاده از وضعیتهای خورشید تعیین می کرده و امروزه هم حرکات خورشید در جهت‌یابی، دارای اهمیتی اساسی است.

در زمان حاضر، بعلت کثرت تردد و مسافرت، موضوع جهت‌یابی، اهمیت بیشتری یافته است و وسایل دقیق فنی و مهندسی، در این مورد بکار گرفته می‌شود.

علاوه‌بر جهات چهارگانه، جهت قبله نزد مسلمانان، بسیار مورد توجه بوده، شناخت آن در بیشتر مراسم دینی مورد نیاز است.

جهت قبله، در نحوهٔ قرارگیری ساختمان مساجد، حایز اهمیت است؛ چنانکه همه می‌دانند، محراب تمام مساجد موجود در ممالک اسلامی و در سطح دنیا بسوی کعبه است. در سایر ابنیه و معماری اسلامی نیز جهت قبله یک جهت اساسی است.

اهمیت موضوع قبله تا بدانجاست که در خانهٔ هر مسلمانی، تعیین امتداد قبله از واجبات است.

با توجه به اهمیت موضوع، این کتاب به‌منظور بررسی دقیق مطلب قبله یابی، نوشته شده است و نیاز به تحقیق در مسئله را مطرح می‌سازد.

با وجود اهمیت موضوع قبله‌یابی، دیده می‌شود که بررسی مهمی در این خصوص صورت نگرفته و میزان دقّت روشهای مورد استفاده، کاملا تحت مطالعهٔ دقیق علمی درنیامده است.

کتاب، با فصلِ طول و عرض جغرافیایی (فصل اول) آغاز می‌شود. دانستن مختصات جغرافیایی یک محل در تعیین جهت قبلهٔ آن، از نخستین اطلاعات واجب به‌شمار می‌آید. روشهای تعیین مختصات جغرافیایی در این فصل مورد امعان نظر قرار گرفته و چگونگی تعیین آنها با استفاده از نقشه و یا وسایل ساده، تشریح شده است.

دانستن جهت شمال و جنوب جغرافیایی در قبله‌یابی، از اطلاعات لازم دیگری است که جهت قبله، نسبت به‌آنها سنجیده می‌شود. جهت‌یابی و یا تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، در فصل دوّم کتاب آمده است.

در فصل سوّم، جهت‌یابی با استفاده از ساعتهای خورشیدی، شرح داده شده است که این مطلب از نظر تاریخی اهمیت غیرقابل انکار دارد، چه مسلمین، قبل از اختراع قطب‌نماهای مغناطیسی، با استفاده از ترکیب دو نوع ساعت خورشیدی، جهت را بدست می‌آوردند.

با فرض کروی بودن شکل زمین، محاسبهٔ زاویهٔ جهت قبله، نسبت به‌امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با استفاده از رابطه‌های مثلثات کروی میسر است. بدین منظور در فصل چهارم چند مثال در زمینهٔ مثلثات کروی عنوان شده است. درحال حاضر با استفاده از ماشینهای حساب الکترونیکی، استفاده از فرمولهای مثلثات کروی بسیار ساده بوده، دیگر نیازی به‌محاسبات لگاریتمی نیست.

روشهای قبله‌یابی در فصل پنجم به‌تفصیل تشریح شده و در این مورد مثالهای متعددی ذکر گردیده است. در این فصل به‌بعضی از فعالیتهای انجام شده در موضوع قبله‌یابی در ایران، اشاره شده و در عین حال اساس روش تعیین جهت قبله از راه بدست‌آوردن سایهٔ یک میله قائم و یا سایهٔ نخ یک شاقول — دوبار در سال در اوقات معین — به‌تفصیل تشریح شده است.

شرح بعضی از اصطلاحات نجومی را در فصل ششم می‌خوانید؛ دانستن بعضی مطالب نجومی، در دانش قبله‌یابی مورد لزوم است و این فصل، خواننده را با اصطلاحات نجومی مورد نیاز آشنا می‌کند. بطوری‌که او بتواند با استفاده از فهرست اعلام پایان کتاب، شرح هر اصطلاحی را بسادگی بیابد.

موضوع زمان و وقت، مطلب دیگری است که در قبله‌یابی اهمیت فراوان دارد. لذا فصل هفتم به‌موضوع زمان اختصاص یافته و اصطلاحات و فرمولهای مورد لزوم تشریح شده است.

تا قرن هفدهم میلادی، زمین به‌شکل کرهٔ کامل انگاشته می‌شد؛ در نیمهٔ

دوّم قرن هفدهم، بیضوی شکل بودن زمین مطرح گردید؛ امروزه شکل واقعی زمین و ابعاد دقیق آن، از طریق مطالعات و بررسیهای ژئودتیکی، تعیین شده است، اما هنوز در محاسبات مربوط به‌قبله‌یابی، شکل زمین بصورت کرهٔ کامل فرض می‌شود و تا بحال اثر شکل زمین، در نتیجهٔ محاسبات از راه کاربرد فرمولهای مثلثات کروی، مورد بررسی قرار نگرفته، لذا به همین منظور شکل زمین در فصل هشتم کتاب به‌بحث کشیده شده است.

فصل نهم به‌یک برنامهٔ تحقیقات بین‌المللی درمورد قبله‌یابی اختصاص دارد. این تحقیقات با توجه به‌شکل واقعی زمین، امری اجتناب‌ناپذیر است و امید می‌رود که توسط سازمانهای تحقیقاتی مورد توجه قرار گیرد.

چنانکه اشاره شد، روش تعیین قبله، با بدست‌آوردن امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم و یا سایهٔ نخ یک شاقول، دوبار در سال در اوقات معین میسر می‌گردد که چگونگی امر، در فصل پنجم تشریح شده است. البته روش مربوط، به‌گونه‌ای که تابحال معمول بوده، فقط در بیشتر مناطق نیمکرهٔ شرقی کاربرد دارد. اما در فصل نهم، برای اولین‌بار روش کار در نیمکرهٔ غربی نیز ارائه شده و به‌عبارت دیگر کاربرد این روش چهاربار در سال است.

بالاخره در فصل دهم، چگونگی یافتن روشهای آسان قبله‌یابی بیان گردیده است. این فصل کوتاه، استفاده از کتاب را برای خوانندگانی که حوصلهٔ پرداختن به همهٔ فصلهای آن را ندارند، آسان می‌سازد.

با توجه به‌مندرجات کتاب، مشاهده می‌شود که در امر قبله‌یابی، رشته‌های متعدد علوم، از قبیل: ریاضیات، نجوم، نقشه‌برداری، ژئودزی و غیره، مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ لذا با پیشرفت خارق‌العادهٔ رشته‌های مختلف علوم در قرون اخیر، نگرشی نو، در امر قبله‌یابی اجتناب‌ناپذیر است. ناگفته نماند که در رابطه با مطلب قبله‌یابی، می‌بایست مسائل شرعی مربوطه را در نظر داشته و همیشه نظر مسئولین مربوطه در این مورد، ارجح است.

انجام یک کار صددرصد صحیح از عهدهٔ یک نفر برنمی‌آید و قطعاً خوانندگان جستجوگر به‌لغزشهای چندی در این کتاب برخورد خواهند کرد. استدعایم این است که محبت فرموده، اشتباهات موجود و نظرات اصلاحی خود را به‌اطلاع مؤلف (تهران، صندوق پستی ۱۴۴۵۵/۳۹۱) برسانند که مزید بسی تشکر و امتنان خواهد بود.

**ماشاءالله علی‌احیایی**
**تهران، شهریورماه ۱۳۶۳**

## فصل اوّل

# طول و عرض جغرافیایی

برای پیدا کردن جهت قبلهٔ یک مکان می‌بایست طول و عرض جغرافیایی آن را بدانیم. لذا موضوع طول و عرض جغرافیایی را در این فصل مورد بررسی قرار می‌دهیم. همچنین در این فصل روشهای ساده‌ای برای تعیین طول و عرض جغرافیایی یک مکان، ارائه خواهد شد.

ممکن است خواننده به اصطلاحات نجومی مختلفی برخورد کند، در این صورت، با مراجعه به فهرست اعلام مندرج در پایان کتاب، می‌تواند تعاریف مربوط را که در فصل ششم کتاب، شرح داده شده است، بیابد.

## ۱. تعریف طول و عرض جغرافیایی

مختصات جغرافیایی یک نقطه بر روی کرهٔ زمین، با طول و عرض جغرافیایی تعیین می‌شود. عرض جغرافیایی، با حرف یونانی ($\varphi$)[۱] و طول جغرافیایی ($\lambda$)[۲] نشان داده می‌شود.

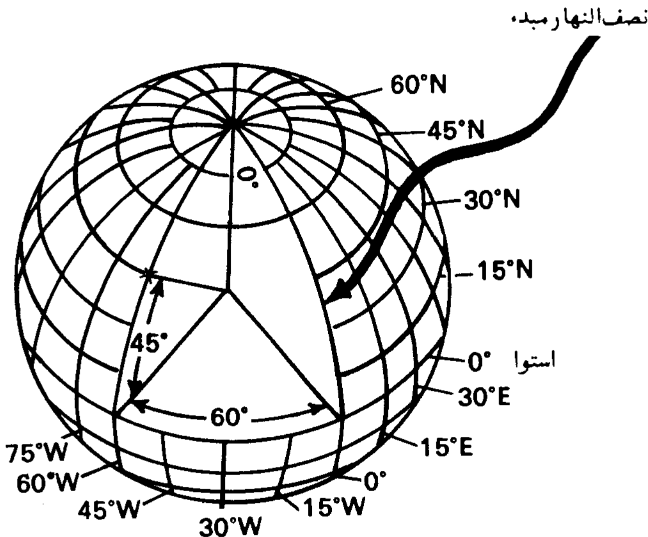
محور چرخشی زمین، قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص کرده و از این مطلب، یک دستگاه مختصاتی که شرح آن در ذیل خواهد آمد، حاصل شده است.

درست در حد وسط بین دو قطب جغرافیایی، دایرهٔ استوا[۳] در نظر گرفته می‌شود. دایرهٔ استوا دایرهٔ عظیمه‌ای است که کرهٔ زمین را به‌دو نیم کرهٔ شمالی و جنوبی[۴] تقسیم می کند. به‌موازات دایرهٔ استوا، دوایر صغیره‌ای، مابین دایرهٔ استوا و قطبهای‌جغرافیایی، درنظر گرفته می‌شود که مدارات[۵] نامیده می‌شوند. مدارات درحقیقت خطوط شرقی غربی سیستم مختصات مربوط هستند. دوایر عظیمه‌ای که از دو قطب جغرافیایی زمین

1. Phi 2. Lambda 3. Equator
4. Northern and Southern Hemisphere 5. Parallels of Latitude

می‌گذرند، تشکیل نصف‌النهارات[1] را می‌دهند. این دوایر تشکیل دهندهٔ خطوط شمالی جنوبی مختصاتند.

عرض جغرافیایی یک نقطه، با فاصلهٔ زاویه‌ای آن از دایرهٔ استوا، از صفر تا ۹۰ درجه بطرف شمال و یا جنوب بیان می‌شود. طول جغرافیایی یک نقطه، با فاصلهٔ زاویه‌ای که نصف‌النهار آن نقطه با نصف‌النهار مبدء[2] می‌سازد بیان می‌گردد. طبق موافقتنامه‌ای که در کنفرانس بین المللی، درمورد نصف‌النهار[3]، در واشنگتن دی‌سی[4]، در آمریکا در سال ۱۸۸۴، حاصل شد، نصف‌النهاری که بر محور نوری رصدخانهٔ سلطنتی گرینیچ[5] در انگلستان منطبق است بعنوان نصف‌النهار مبدأ انتخاب شده. طول جغرافیایی، از صفر تا ۱۸۰ درجه نسبت به نصف‌النهار مبدء، بطرف مشرق و یا مغرب بیان می‌گردد. بنابراین نصف‌النهار ۱۸۰ درجهٔ شرقی و ۱۸۰ درجهٔ غربی، برهم منطبق هستند. این نصف‌النهار در اقیانوس آرام[6] قرار گرفته و به نام خط بین‌المللی تاریخ[7] نامیده می‌شود؛ درمورد این نصف‌النهار درفصل هفتم، توضیح بیشتری داده شده است.




شکل (۱-۱)ــ نمایش طول و عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، عرض جغرافیایی محل، نشانگر °۴۵ شمالی و طول جغرافیایی آن نیز °۶۰ غربی است.

1. Meridians of Longitude
2. Prime Meridian
3. International Meridian Conference
4. Washington D. C.
5. Royal Greenwich Observatory
6. Pacific Ocean.
7. International Date Line.

در شکل (۱-۱) طول و عرض جغرافیایی محلی بر روی کرهٔ زمین، که با علامت بعلاوه (+) مشخص گردیده، نشان داده شده است. عرض جغرافیایی آن °۴۵ شمالی و طول جغرافیایی آن °۶۰ غربی است.

باید توجه داشت که این گونه مختصات جغرافیایی، با فرض کروی‌شکل بودن زمین است. البته شکل واقعی کرهٔ زمین در فصل هشتم، مورد بحث قرار گرفته، همچنین انواع دیگر مختصات نیز در آنجا بیان شده است.

درجات عرض جغرافیایی بطور مساوی تقسیم شده است، امّا فاصله‌های مربوط کمی با هم فرق دارند که آن هم بعلت فشردگی[1] کرهٔ زمین در ناحیهٔ دو قطب آن است. فاصلهٔ یک درجهٔ عرض جغرافیایی در ناحیهٔ استوایی ۱۱۰/۵۶۷ کیلومتر (۶۸/۷۰۳ مایل) است که در نزدیکی قطبها، این فاصله به ۱۱۱/۶۹۹ کیلومتر (۶۹/۴۰۷مایل) می‌رسد.

چنانکه می‌دانیم، نصف‌النهارات همدیگر را در قطبهای جغرافیایی زمین قطع می‌کنند، لذا فاصلهٔ یک درجه‌ای طول جغرافیایی از صفر کیلومتر در قطبها تا ۱۱۱/۳۲۱ کیلومتر (۶۹/۱۷۲ مایل) در ناحیهٔ استوایی تغییر می‌کند.

درجات طول و عرض جغرافیایی با تقسیمات کوچکتر مانند دقیقهٔ زاویه‌ای (′) و ثانیهٔ زاویه‌ای (″) نیز نشان داده می‌شود.

## ۲. تعیین عرض جغرافیایی

عرض جغرافیایی یک مکان را می‌توان از روی نقشه‌های جغرافیایی پیدا کرد؛ همچنین با استفاده از روشهای متداول در نجوم، می‌شود آن را مشخص ساخت. به‌روشهای متداول نجومی، در پایان این قسمت، بطور خلاصه اشاره خواهد شد. امّا پس از بیان یک خاصیّت مهم عرض جغرافیایی، روشی را شرح خواهیم داد که می‌تواند در نقاط دوردست و بدون دسترسی به‌نقشه‌های جغرافیایی برای تعیین عرض جغرافیایی بکار رود، سپس طرز بدست آوردن عرض جغرافیایی، با استفاده از نقشه را بیان خواهیم کرد. قبل از شروع روشهای مختلف، می‌بایست یک خاصیت مهم در رابطه با عرضِ جغرافیایی را شرح داد:

عرض جغرافیایی یک‌محل، برابر است با ارتفاع[2] قطب سماوی[3]. ـــ قطب سماوی در فصل ششم تعریف شده است ـــ این خاصیت به‌طریق زیر قابل اثبات است:

1. Flattening. 2. Altitude 3. Celestial Pole

دایرهٔ نشان داده شده در شکل (۲ـ۱) معرف کرهٔ زمین و نقطهٔ O مرکز آن است. فرض می‌شود که نقطهٔ M محل مورد نظر بر روی کرهٔ زمین باشد، در نتیجه، امتداد قائم[1] در این محل در امتداد خط MO است؛ بطوری که اگر خط MO را بطرف بالای سر ناظرِ مستقر در نقطهٔ M امتداد دهیم به‌سمت‌الرأس[2] آن، در نقطهٔ Z می‌رسیم. خط P'OP محور زمین است که در صورت امتداد دادن آن، امتداد قطب سماوی مشخص می‌شود ($OPP_1$). دایرهٔ EQ نیز معرف دایرهٔ استواست.

خط HH' نمایانگر صفحهٔ افق[3]، در نقطهٔ M است که عمود بر خط ZMO رسم شده است. بُعد فاصلهٔ قطب سماوی تا حدی است که اگر از نقطهٔ M خطی در امتداد آن رسم شود، خط حاصل، $MP_2$، موازی خط $OPP_1$ خواهد بود.

طبق تعریف، عرض جغرافیایی نقطهٔ M با زاویهٔ $\varphi = \widehat{EOM}$ بیان می‌شود، در حالیکه ارتفاع قطب سماوی با زاویهٔ $HNP_1$ و یا زاویهٔ $HMP_2$ ($MP_2$ موازی $NP_1$ است) ذکر می‌گردد. لذا می‌بایست تساوی زیر ثابت شود:

$$\widehat{EOM} = \widehat{HMP_2}$$



شکل (۲ـ۱) — برابری عرض جغرافیایی یک محل و ارتفاع قطب سماوی

1. Direction of vertical 2. Zenith 3. Horizon

این تساوی به‌طریق زیر ثابت می‌شود:

$$\widehat{HMP_2}+\widehat{ZMP_2}=۹۰^\circ$$

$$\widehat{POM}+\widehat{EOM}=۹۰^\circ$$

از طرف دیگر

$$\widehat{ZMP_2}=\widehat{POM}$$

و لذا

$$\widehat{HMP_2}=\widehat{EOM}$$

یعنی عرض جغرافیایی یک محل، برابر با ارتفاع قطب سماوی است.

این نتیجه، برای تعیین عرض جغرافیایی بکار برده می‌شود که در همین قسمت به‌آن اشاره خواهد شد.

### ۱-۲. تعیین عرض جغرافیایی با استفاده از وسایل ساده

در نقاط دوردست ممکن است به‌نقشه های جغرافیایی که دارای مشخصهٔ طول و عرض جغرافیایی باشند دسترسی پیدا نشود و یا وسایل نجومی مورد لزوم برای تعیین عرض جغرافیایی در آن نقاط موجود نباشد، در اینصورت روش زیر را می‌توان به‌آسانی با استفاده از وسایل ساده بکار گرفت. در این روش نیازی به‌وسایل پیچیدهٔ نجومی، و آدم متخصص که بتواند با آنها کار کند، نیست و بسهولت توسط همه کس قابل اجراست.

اساس روش، بر، اندازه‌گیری ارتفاع خورشید، در لحظه‌ای که خورشید درست بر بالای نصف‌النهار یک محل قرار می‌گیرد، استوار است. بدین ترتیب که وقتی خورشید از نصف‌النهار یک محل گذر می کند، با توجه به‌شکل (۳-۱)، رابطهٔ زیر صادق است:

$$a=۹۰^\circ-\varphi\pm\delta \qquad (۱-۱)$$

که در آن

ارتفاع خورشید در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار محل = $a$

عرض جغرافیایی محل = $\varphi$

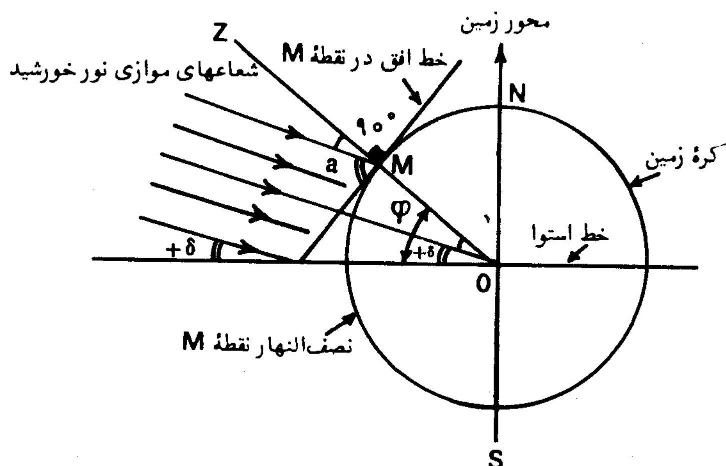
میل خورشید[1] = $\delta$

شعاعهای نور خورشید که بر زمین می‌تابند بعلت دوردست بودن منبع نور

1. Sun's Declination

خورشید، موازی یکدیگرند و چنانکه در فصل ششم بیان شده است، میل خورشید زاویه‌ای است که اشعهٔ موازی نور خورشید با صفحهٔ دایرهٔ استوا می‌سازند و اندازهٔ آن در طول سال از ۴۵/°۲۳− تا ۴۵/°۲۳+ تغییر می‌کند.

دایرهٔ نشان داده شده در شکل (۳ـ۱)، معرف کرهٔ زمین است. همچنین این دایره می‌تواند نمایانگر دایرهٔ نصف‌النهارِ ناظر مستقر در نقطهٔ M باشد. لذا بسادگی با استفاده از روابط موجود بین زوایای یک مثلث و همچنین رابطهٔ مربوط به زاویهٔ خارجی، رابطهٔ (۱ـ۱) مذکور در فوق، اثبات می‌گردد. علامت بعلاوهٔ میل خورشید مربوط




شکل (۳ـ۱) — رابطهٔ بین عرض جغرافیایی و میل و ارتفاع خورشید در لحظهٔ قرارگرفتن خورشید بر نصف‌النهار محل.

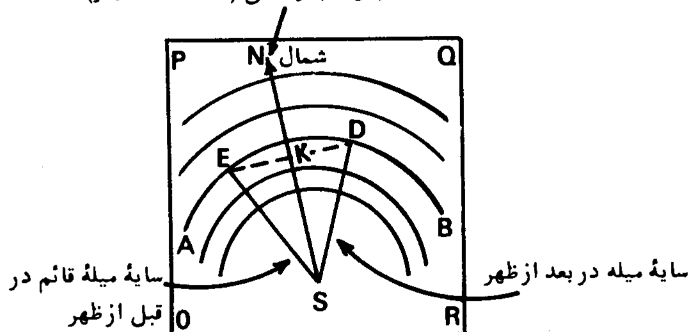
به‌حالتی است که خورشید در شمال دایرهٔ استوا، (فصل بهار و تابستان) و علامت منهای میل خورشید مربوط به‌وقتی است که خورشید در جنوب دایرهٔ استواست (فصل زمستان و پائیز). شکل (۳ـ۱) برای حالتی نشان داده شده که خورشید در شمال دایرهٔ استوا قرار گرفته و در نتیجه، علامت δ مثبت است.

با روشن شدن مفهوم فرمول (۱ـ۱)، دیده می‌شود که اگر ارتفاع خورشید را در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار یک محل اندازه‌گیری کنیم و همچنین میل خورشید را برای تاریخ آزمایش در دست داشته باشیم، با استفاده از فرمول، اندازهٔ عرض جغرافیایی محل

محاسبه می‌گردد. مقادیر متوسط میل خورشید در روزهای سال، در جدول شمارهٔ (۱-۶) و همچنین طریق محاسبهٔ آن در فصل ششم داده شده است.

برای عملی ساختن این روش، ابتدا می‌بایست امتداد نصف‌النهار و یا امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل را مشخص سازیم. در فصل دوّم روشهای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یک محل بیان شده است. در اینجا روش ساده‌ای برای تعیین این امتداد بیان می‌شود:

مطابق شکل (۴-۱) یک صفحهٔ کاملا افقی و تراز مانند صفحهٔ OPQR را انتخاب می کنیم؛ در یک محل مناسب بر روی این صفحه، نقطه‌ای مانند نقطهٔ S را




**شکل (۴-۱) — تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن سایه‌های مساوی یک میلهٔ قائم در صبح و بعدازظهر. دراین شکل تصویر از بالا نشان داده شده و لذا میلهٔ قائم نصب شده در نقطهٔ S، به‌صورتِ یک نقطه دیده می‌شود.**

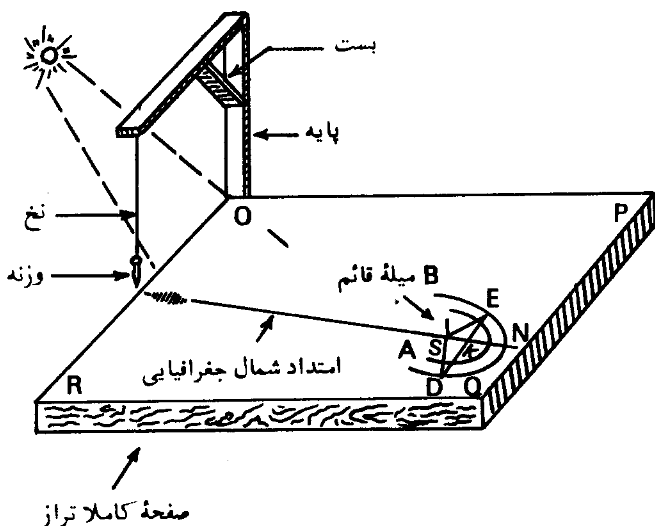
مشخص می‌سازیم. به‌مرکز S و با شعاعهای مختلف، تعدادی کمان متحدالمرکز رسم می کنیم؛ در نقطهٔ S یک سوزن و یا یک میله، بصورت کاملا قائم نصب می‌نماییم؛ طول میله و یا سوزن را طوری انتخاب می کنیم که سایهٔ آن بتواند بر روی کمانهای رسم شده بیفتد. چند ساعتی قبل از ظهر و در یک لحظهٔ مشخص، انتهای سایهٔ میله و یا سوزن بر روی یکی از کمانهای رسم شده می‌افتد که در شکل (۴-۱) نقطه E بر روی کمان AB مشخص کنندهٔ انتهای سایه است. در لحظهٔ معینی در ساعات بعد از ظهر، انتهای سایه، دوباره بر همان کمان AB در نقطهٔ دیگری مانند D خواهد افتاد.

نقطه‌های E و D را، که دقیقاً بدین ترتیب مشخص شده‌اند، توسط یک خط

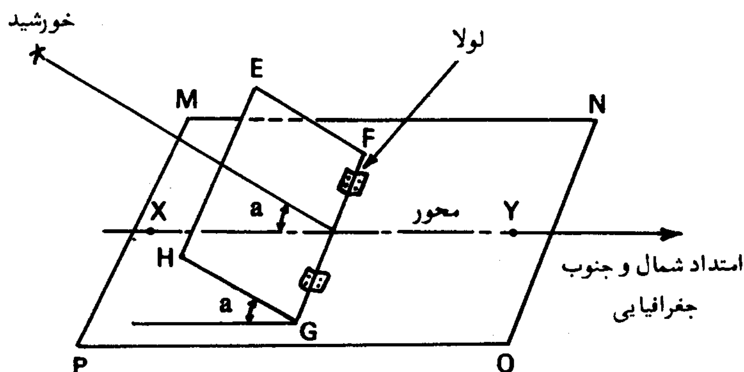
مستقیم به‌همدیگر وصل می‌کنیم. آنگاه وسط خط ED را بدست می‌آوریم که در شکل، نقطهٔ K وسط این خط است. سپس نقطهٔ K را به‌نقطهٔ S وصل می‌کنیم که خط SKN، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و یا خط نصف‌النهار محل است. باید توجه داشت که در تمام مدت آزمایش صفحهٔ OPQR کاملا درجای خود ثابت مانده، هیچگونه تغییری در وضعیت آن داده نشود. دقت عمل در این روش بستگی به‌ترازبودن صفحه و بزرگی مقیاس کار یعنی اندازهٔ شعاع کمانهای متحدالمرکز و بلندی میله و یا سوزن دارد. تعیین امتداد شمال و جنوب حقیقی با این روش درحدود یک روز طول می‌کشد. البته می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از روشهای دیگری که در فصل دوّم داده شده است، استفاده کرد. همچنین دقت این روش را در فصل دوّم مورد بحث قرار خواهیم داد. درحقیقت این روش همان طریقهٔ معروف به‌دایرهٔ هندی است که از قرنها پیش به‌کار گرفته می‌شده است.

در مرحلهٔ دوم، می‌بایست لحظه‌ای را که خورشید از نصف‌النهار محل می‌گذرد تعیین کنیم. برای این کار بعد از تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، در روز بعد با استفاده از همان صفحهٔ OPQR کار را ادامه می‌دهیم. لحظه‌ای که خورشید بر روی نصف‌النهار محل قرار می‌گیرد، سایهٔ میلهٔ قائم مستقر در نقطه S بر روی خط SKN خواهد افتاد. مشروط بر آنکه هیچگونه تغییری در وضعیت صفحه نداده باشیم. البته این کار را با استفاده از یک شاقول، بنحوی که در شکل (۵-۱) نشان داده شده است نیز می‌توان انجام داد. درست در لحظه‌ای که خورشید از نصف‌النهار یک محل، گذر می‌کند، سایهٔ نخ یک شاقول که بر روی صفحهٔ OPQR قرار داده شده، بر روی خط شمال و جنوب جغرافیایی می‌افتد.

در مرحلهٔ سوّم، می‌بایست ارتفاع خورشید را درست در لحظه‌ای که از نصف‌النهار محل می‌گذرد، برای استفاده در فرمول (۱-۱)، اندازه‌گیری کنیم. این عمل، با ساختن وسیلهٔ ساده‌ای که در شکل (۶-۱) نمایانده شده، میسر است. صفحهٔ MNOP یک صفحهٔ کاملا افقی است که محور XY آن، باید در امتداد خط شمال و جنوب جغرافیایی محل که به‌شرح فوق قبلا تعیین شده، قرار گیرد. صفحهٔ EFGH بوسیلهٔ لولا دقیقاً به‌صفحهٔ MNOP طوری وصل شده که خط FG عمود بر محور XY است. حال، دقیقاً در لحظه‌ای که خورشید از نصف‌النهار محل می‌گذرد، صفحهٔ EFGH را حول محور آن یعنی خط FG ، آنقدر می‌چرخانیم تا سایهٔ آن بر روی FG بیفتد و یا بعبارت دیگر، صفحهٔ EFGH ، دیگر سایه‌ای نداشته باشد. در این حالت، زاویهٔ بین دو صفحهٔ EFGH و




**شکل (۱ـ۵) — تعیین لحظه‌ای که خورشید بر نصف‌النهار محل قرار می‌گیرد.**




**شکل (۱ـ۶) — شمای وسیلهٔ ساده برای اندازه‌گیری ارتفاع خورشید در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار یک محل.**

MNOP برابر ارتفاع خورشید است که در فرمول (۱ـ۱) با علامت a نمایانده شده است.

در مرحلهٔ آخر، با بدست آوردن میل خورشید از جدول شمارهٔ (۱ـ۶)، اندازهٔ

عرض جغرافیایی ($\varphi$) را با استفاده از فرمول مذکورمحاسبه می کنیم.

دقت روش بیان شده، بستگی دارد به‌دقتی که در ساختن و استقرار وسایل مورد لزوم بکار می‌رود. با توجه به‌آنچه که گذشت، در این روش، بیشترین اندازهٔ ارتفاع خورشید، بعنوان ارتفاع خورشید در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار، گرفته شده است که البته این مطلب کاملا و دقیقاً درست نیست؛ چه، میل خورشید، چنانکه در فصل ششم توضیح داده خواهد شد، بطور مداوم در حال تغییر است. البته اختلاف بین ماکسیمم ارتفاع خورشید و ارتفاع آن در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار محل، معمولا کسری از ثانیه است که در آزمایشاتی این چنینی قابل صرفنظر کردن است. تصحیح مربوط به‌شکست نور خورشید در اتمسفر زمین هم در این روش نادیده گرفته شده است.

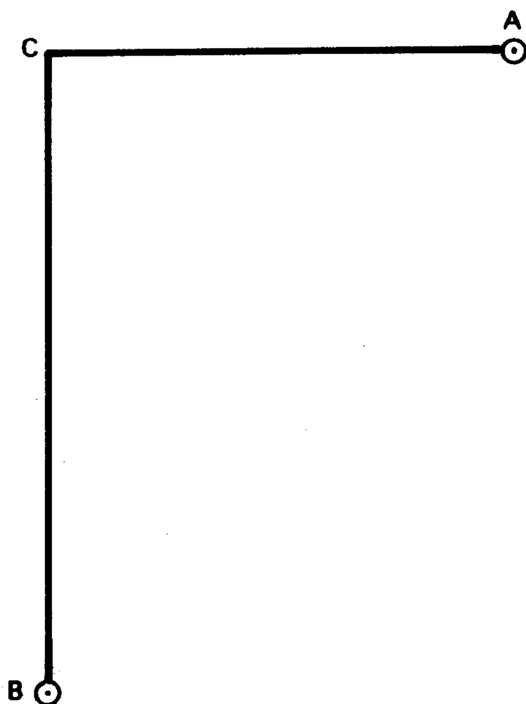
## ۲ـ۲. تعیین عرض جغرافیایی از روی نقشه

اندازهٔ عرض جغرافیایی یک محل را از روی نقشه‌هایی که دارای مشخصهٔ طول و عرض جغرافیایی هستند، بسادگی می‌توان بدست آورد. اگر مقیاس نقشه نیز بزرگ باشد، دقت عمل تا حدود دقیقه و یا کسری از آن هم می‌تواند باشد. کافی است محل مورد نظر را بر روی نقشه پیدا کرده، با توجه به‌خطوط مربوط به‌عرض جغرافیایی، از راه محاسبه و یا از راه ترسیم، عرض جغرافیایی محل را پیدا کنیم. این روش در صورتی عملی است که محل مورد نظر بر روی نقشه، نشان داده شده باشد، امّا در صورتی که نشود محل مورد نظر را بر روی نقشهٔ موجود مشخص کرد، روش ذکر شدهٔ قبلی را می‌توان بکار گرفت. ولی اگر نقشهٔ موجود، دارای مشخصهٔ طول و عرض جغرافیایی نباشد، روش ذیل را بکار می‌بندیم:

در ابتداء بر روی نقشه، شهر و یا محلی را که دارای مختصات جغرافیایی معلومی است، در نزدیکی محل مورد نظر انتخاب می کنیم. برای اختصار کلام، محلِ با مختصات جغرافیایی معلوم را محلِ معلوم می‌نامیم. سپس فاصلهٔ شرقی و یا غربی و فاصلهٔ جنوبی و یا شمالی محلِ معلوم را از محلی که مختصات جغرافیایی آن را نمی‌دانیم با یک خط کش مدرج اندازه می‌گیریم. در حقیقت فاصلهٔ مستقیم دو محل، اندازه‌گیری نمی‌شود، بلکه مطابق شکل (۷ـ۱) دو فاصلهٔ مختلف اندازه‌گیری می‌شود. بدین ترتیب اگر در این شکل نقطهٔ A نمایانگر محلِ معلوم، و نقطهٔ B محلِ مورد نظر باشد، فاصلهٔ بطرف شمال و یا جنوب از نقطهٔ B و فاصلهٔ به‌طرف مشرق و یا مغرب از نقطهٔ A اندازه‌گیری می‌شود؛ بنحوی که دو فاصلهٔ مربوط همدیگر را در نقطه‌ای مانند C قطع کنند. در

این شکل، نقطهٔ A در شمال شرقی محلِ B است و لذا فاصلهٔ AC ، شرقی و فاصلهٔ BC ، شمالی است.

با توجه به‌فاصله‌هایی که قبلا برای یک درجهٔ عرض جغرافیایی داده شد، فاصلهٔ یک دقیقهٔ عرض جغرافیایی، درحدود ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. در مرحلهٔ بعدی فاصله های حقیقی AC و BC را با توجه به‌مقیاس نقشه، به‌دست می‌آوریم. در این مرحله، فاصلهٔ AC، مورد لزوم نیست، ولی بعداً در تعیین طول جغرافیایی بکار خواهد رفت. امّا فاصلهٔ شمالی جنوبی BC برای محاسبهٔ عرض جغرافیایی، لازم است. با توجه به‌اندازهٔ داده شده در بالا، فاصلهٔ BC برحسب کیلومتر، معادل $\frac{BC}{۱/۸۵} = ۰/۵۴BC$ دقیقهٔ عرض جغرافیایی است و چون نقطهٔ مورد نظر درجنوب محل




شکل (۷-۱)— پیدا کردن طول و عرض جغرافیایی یک محل از روی مختصات جغرافیایی یک محل نزدیک به‌آن.

معلوم است، لذا باید معادل (۰/۵۴BC) دقیقه، از عرض جغرافیایی نقطهٔ A کاسته شود تا عرض جغرافیایی محل مورد نظر بدست آید. البته چنانکه واضح است کاربرد

این روش، در صورتی است که محل مورد نظر بر روی نقشه، مشخص باشد، در غیر اینصورت روش قبلی را می‌توان بکار گرفت.

بعد از بیان روشهای سادهٔ فوق، به‌ذکر مختصر چند روش معمول در نجوم، می‌پردازیم که تعیین دقیق عرض جغرافیایی یک محل، با بکار بردن آنها کاملا امکان‌پذیر است.

### ۳ــ۲. تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع ستارهٔ قطبی[1]

چنانکه قبلا بیان شد، عرض جغرافیایی یک محل، برابر با ارتفاع قطب سماوی در آن محل است. اگر دقیقاً در امتداد قطب شمال سماوی، ستارهٔ مشخصی وجود داشت، با اندازه‌گیری ارتفاع آن ستاره در هر محلی، عرض جغرافیایی آن، مشخص می‌گردید. امّا چنین ستاره‌ای در امتداد دقیق قطب شمال سماوی موجود نیست. تنها ستاره‌ای که خیلی نزدیک قطب شمال سماوی قرار گرفته ستارهٔ قطبی است که فاصلهٔ قطبی[2] آن درحدود یک درجه و ده دقیقه ( $1^\circ 10'$ ) است.

لذا برای بدست‌آوردن عرض جغرافیایی یک محل، می‌بایست ارتفاع ستارهٔ قطبی را بمقدارکمی تصحیح کرد. مقدار این تصحیح با توجه به‌وضعیت ستارهٔ قطبی، ممکن است منفی و یا مثبت باشد.

### ۴ــ۲. تعیین عرض جغرافیایی، با اندازه‌گیری ارتفاع خورشید و یا یک ستاره در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار محل

چگونگی این روش درمورد خورشید، در مطلب شمارهٔ (۱ـ۲) در این فصل توضیح داده شد و درمورد یک ستاره نیز اساس کار، همان است. در این روش، امتداد خط نصف‌النهار محل، باید از قبل تعیین شده باشد. این روش، در مواقعی بکار گرفته می‌شود که دقت زیادی مورد نیاز نباشد.

بعد از رصد ستارهٔ معین درشب و اندازه‌گیری ارتفاع آن با وسایل نجومی، اندازهٔ میل ستاره، از جدول نجومی[3]، بدست آمده و با توجه به‌موقعیت ستاره، نسبت به‌سمت‌الرأس ناظر، عرض جغرافیایی محل محاسبه می‌شود.

درمورد خورشید وقتی که ارتفاع آن با دقت زیاد و وسایل نجومی اندازه‌گیری

1. Polaris 2. Polar Distance 3. Ephemeris

می‌شود، می‌بایست تصحیحات نجومی[1] از قبیل تصحیح مربوط به‌شکست نور[2] خورشید در اتمسفر کرهٔ زمین و تصحیح مربوط به‌اختلاف منظر[3] (پارالاکس) و غیره را نیز معمول داشت.

## ۵—۲. تعیین عرض جغرافیایی از روی رصد دو ستاره، که در دو طرف سمت‌الرأس ناظر قرار دارند، در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار محل

این روش، در حقیقت روش توسعه یافتهٔ قبلی است؛ بعلت اینکه در این روش دو رصد انجام می‌شود، لذا تصحیح مربوط به‌شکست نور و تصحیح مربوط به‌وسایل نجومی، عملا یکدیگر را خنثی می‌کنند. اساس کار بدین ترتیب است که ارتفاع ستارهٔ معینی را که در یک طرف سمت‌الرأس ناظر قرار می‌گیرد درحین عبور از نصف‌النهار محل با وسایل نجومی اندازه‌گیری کرده، عرض جغرافیایی را با روش قبلی محاسبه می‌کنند. سپس ستارهٔ دیگری را در طرف سمت‌الرأس ناظر، طوری انتخاب می‌کنند که با اختلاف زمانی کمی، درحدود نیم ساعت از نصف‌النهار محل گذر کند. آنگاه ارتفاع این ستاره را در حین عبور از نصف‌النهار نیز با همان وسایل، اندازه‌گیری کرده، عرض جغرافیایی محل را دوباره محاسبه می‌کنند. متوسط دو عرض جغرافیایی بدست آمده، عرض جغرافیایی محل است.

## ۶—۲. تعیین عرض جغرافیایی، با اندازه‌گیری ارتفاع نصف‌النهاری[4] یک ستارهٔ درحین گذر زیرین و زبرین [5]

ستارگان حول قطبی[6] در طول شبانه‌روز بعلت حرکت وضعی زمین، دارای یک حرکت ظاهری[7]، حول قطب سماوی می‌باشند. بعلت این حرکت ظاهری، ستارگان حول قطبی، دوبار از نصف‌النهار سماوی[8] یک محل گذر می‌کنند. در این روش، ارتفاع یک ستارهٔ معین بهنگام عبور از نصف‌النهار محل، در گذر زیرین و زبرین، اندازه‌گیری می‌شود. متوسط دو ارتفاع اندازه‌گیری شده برابر عرض جغرافیایی محل ناظر است. در این روش، نیازی به‌دانستن میل ستاره، احساس نمی‌شود، اما بعلت اینکه فاصلهٔ بین دو گذر ستاره از نصف‌النهار محل ۱۲ ساعت نجومی[9] طول می‌کشد لذا این روش، زیاد

1. Astronomical Corrections 2. Refraction 3. Parallax
4. Meridian Altitude 5. Lower and Upper Culmination 6. Circumpolar
7. Apparent movement 8. Celestial Meridian 9. Sidereal Hour

مورد استعمال ندارد.

## ۷ــ۲. تعیین عرض جغرافیایی با رصد خورشید و یا یک ستاره در هر وضعیتی

در روشهای قبلی، رصد خورشید و یا یک ستاره، بهنگام عبور از نصف‌النهار محل صورت می‌گرفت. در این روش ارتفاع ستاره و یا خورشید، در هر وضعیتی، اندازه‌گیری می‌شود و بُعد[1] ستاره از جدول نجومی، استخراج شده، آنگاه با استفاده از فرمولهای مربوط به‌مثلث نجومی[2]، عرض جغرافیایی محل محاسبه می‌گردد.

## ۸ــ۲. تعیین عرض جغرافیایی با رصد یک ستاره در حین عبور از سطح نصف‌النها ر اصلی[3]

در این روش ستاره‌ای که فاصلهٔ قطبی[4] آن کمتر از ۹۰ درجه و بیشتر از متمم عرض جغرافیایی[5] محل باشد، انتخاب می‌شود. چنین ستاره‌ای، در گردش شبانه‌روز زمین به‌دور خود، دو بار از سطح نصف‌النهار اصلی، گذر می‌کند. ستاره‌ای برای این رصد بهتر است که در نزدیکی سمت‌الرأس ناظر، از سطح نصف‌النهار اصلی بگذرد. بعد از انتخاب ستاره، فاصله زمانی دو گذر ستاره از سطح نصف‌النهار اصلی برحسب زمان نجومی تعیین می‌شود، سپس با استفاده از فرمولهای مربوط به‌مثلث نجومی و بدست آوردن اطلاعات لازم از جدول نجومی، عرض جغرافیایی محل، محاسبه می‌شود.

مزیت این روش در این است که ارتفاع ستاره، اندازه‌گیری نمی‌شود و لذا مشخص نبودن دقیق میزان تصحیح مربوط به‌شکست نور، دیگر خطای نامشخص را بوجود نمی‌آورد.

## ۹ــ۲. تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع حول نصف‌النهاری خورشید و یا یک ستاره

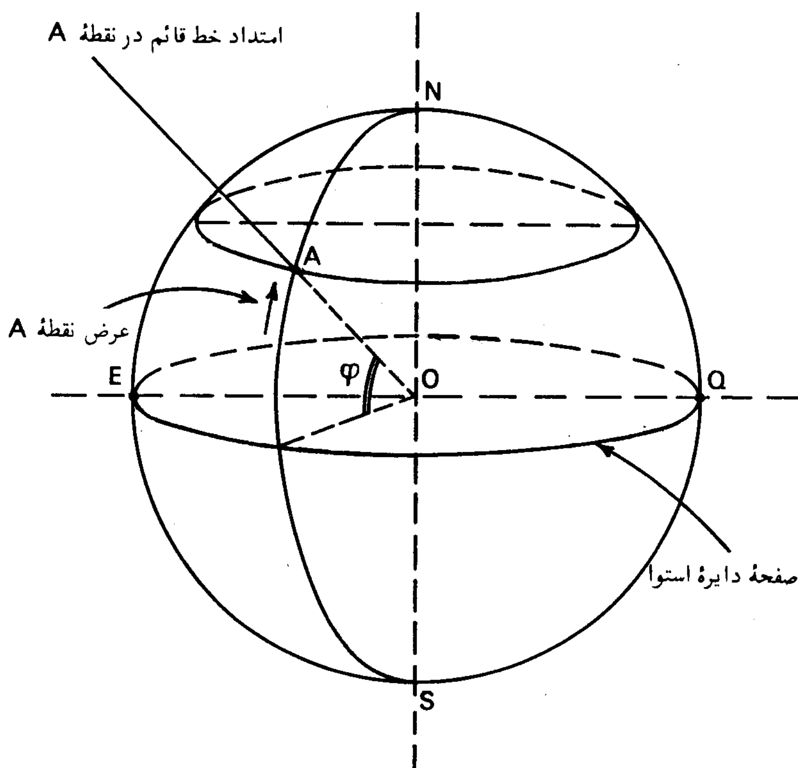
وقتی که ارتفاع یک ستاره در فاصلهٔ خیلی نزدیک به‌نصف‌النهار محل اندازه‌گیری شود، اصطلاحاً آن را ارتفاع حول نصف‌النهار[6] می‌نامند. در این روش، ارتفاع ستاره و یا خورشید، چند دقیقه قبل و بعد از عبور از نصف‌النهار محل، اندازه‌گری می‌شود. زمان دقیق هر اندازه‌گیری می‌بایست دقیقاً تعیین گردد، تا بتوان زاویهٔ ساعتی[7]

1. Right-Ascension 2. Astronomical Triangle 3. Prime-Vertical Transit
4. Polar Distance 5. Co-latitude 6. Circum-meridian Altitude
7. Hour angle

را نیز حساب کرد. سپس با استفاده از فرمولهای مختلف، ارتفاع نصف‌النهاری ستاره، محاسبه می‌گردد. در مرحلهٔ بعد، از روی ارتفاع نصف‌النهاری، به‌ترتیبی که قبلا بیان شده، عرض جغرافیایی محل، حساب می‌شود.

## ۳. عرض جغرافیایی[1] و عرض زمین مرکزی[2]

قبلا عرض[3] یک نقطه بر روی کرهٔ زمین را بعنوان عرض جغرافیایی بیان کردیم. امّا، بین تعریف عرض و عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی کرهٔ زمین، به‌شرحی که در ذیل خواهد آمد، تفاوت وجود دارد.



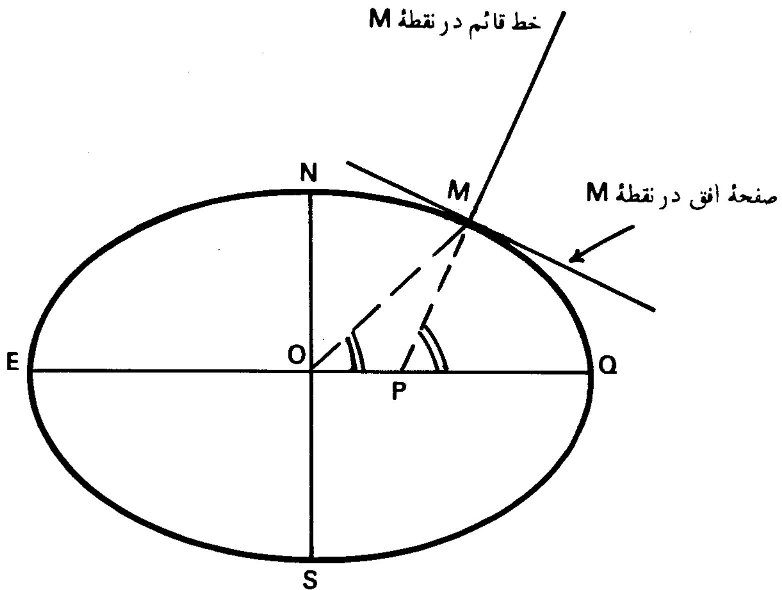

شکل (۸-۱) — عرض یک نقطه بر روی کرهٔ زمین، وقتی که شکل آن بصورت یک کرهٔ کامل فرض شود. زاویهٔ بوجود آمده در مرکز زمین بین امتداد قائم محل و صفحهٔ استوا، عرض محل مورد نظر است.

1. Geographical Latitude  2. Geocentric Latitude  3. Latitude

عرض یک محل را می‌توان بصورت کمانی از یک دایرهٔ عظیمه‌ای که از قطبین کرهٔ زمین و محل مورد نظر، می‌گذرد و مابین آن و صفحهٔ استوای زمین قرار می‌گیرد، تعریف کرد. بسته به‌محل مورد نظر، کمان دایرهٔ عظیمه، ممکن است در شمال و یا جنوب صفحهٔ استوا قرار گیرد. بعبارت دیگر، با توجه به‌آنچه که در شکل (۸ـ۱) نشان داده شده است، عرض یک محل، عبارت از زاویه‌ای است که در مرکز زمین بین صفحهٔ استوا و امتداد خط قائم[1] در محل، بوجود می‌آید.

اساس این مطلب بر این است که زمین بصورت یک کرهٔ کامل فرض گردد، امّا همچنانکه در فصل هشتم بصورت مفصلتر بیان خواهد شد، شکل کرهٔ زمین بصورت کرهٔ کامل نیست، بلکه در قطبین آن، مانند آنچه که در شکل (۹ـ۱) نشان داده شده، حالت پهن‌شدگی[2] وجود دارد.

البته این شکل با مقیاس، رسم نشده و فشردگی زمین در قطبها، بصورت اغراق‌آمیز نمایانده شده است. قبلا هم به‌برآمدگی زمین در نواحی استوایی و فشردگی




شکل (۹ـ۱)ـــ عرض جغرافیایی و عرض زمین مرکزی.

1. Vertical 2. Flattening

آن در قطبها، اشاره شد و دیدیم که فاصلهٔ مربوط به‌یک درجهٔ عرض جغرافیایی در قطبها، بیشتر از ناحیهٔ استوایی است.

در شکل (۹—۱) مقطعی از زمین بصورت یک بیضی نشان داده شده که نقطهٔ M، نمایانگر یک محل است. اگر زمین بصورت کرهٔ کامل بود، امتداد خط قائم بر صفحهٔ افق[1] در نقطهٔ M، از مرکز آن در نقطهٔ O می‌گذشت یعنی در امتداد خط OM قرار می‌گرفت. امّا با فرض بیضوی[2] بودن زمین، خط عمود[3] بر صفحهٔ افق در نقطهٔ M بر امتداد OM قرار نگرفته، بلکه امتدادی مانند PM خواهد داشت. و درحقیقت وقتی که ارتفاع قطب سماوی در نقطهٔ M، به‌منظور تعیین عرض جغرافیایی، اندازه‌گیری می‌شود، اندازهٔ زاویهٔ MPQ بدست می‌آید و نه زاویهٔ MOQ. اندازهٔ زاویهٔ MPQ، آنچه را که اصطلاحاً عرض جغرافیایی و یا عرض ژئودتیک[4] نامیده می‌شود به‌دست می‌دهد. تقریباً عرض ژئودتیک همان عرضی است که درمشاهدات نجومی بدست می‌آید. اندازهٔ زاویهٔ MOQ عرض زمین مرکزی را بدست می‌دهد. بیشترین اختلاف بین عرض زمین مرکزی و عرض ژئودتیکی، در عرض ۴۵ درجه است که درحدود ۱۱ دقیقه و ۴۴ ثانیهٔ قوسی است. براساس فرمولهائیکه در فصل هشتم داده شده است، رابطهٔ بین دو عرض تعریف شده، بصورت زیر است:

$$\frac{\tan \widehat{MOQ}}{\tan \widehat{MPQ}} = \frac{ON^2}{OQ^2} \qquad (۱—۲)$$

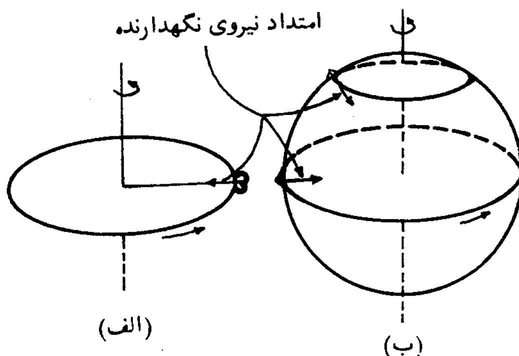
بدین ترتیب می‌بینیم که عرض یک محل بر روی کرهٔ زمین و یا بطور کلی مختصات آن، بستگی به‌شکل واقعی زمین دارد و به‌همین دلیل شکل زمین در فصل هشتم تشریح شده است.

## ۴. تغییرات عرض جغرافیایی[5]

شکل زمین تقریباً بصورت یک شبه کرهٔ پهن شده[6] است که بمقدار کمی درقطبها فشرده شده و درنواحی استوایی دارای برآمدگی است، که برآمدگی آن، قرینه می‌باشد. برآمدگی استوایی زمین دراثر حرکت دورانی زمین به‌دور محور آن، بوجود آمده است. یک شیئی که بر روی یک جسم در حال دوران قرار دارد درصورتی که بر روی جسم

1. Horizon 2. Ellipsoid 3. Perpendicular 4. Geodetic Latitude
5. Variation of Latitude 6. Oblate Spheroid

نگهداشته نشده باشد، درامتداد خط مماس بر آن جسم به‌بیرون آن پرت خواهد شد. مثلا وزنه‌ای که بوسیلهٔ یک نخ، در یک مسیر دایره‌ای‌شکل درحال دوران است، درصورت پاره شدن نخ درامتداد خط مماس بر مسیر دایره‌ای شکل، پرت خواهد شد. امّا می‌بینیم، باوجود آنکه زمین در حال دوران است، ولی اجسام روی آن به‌بیرون پرت نمی‌شوند. علّت اینست که نیروی جاذبهٔ زمین، اجسام روی آن را محکم نگهداشته مانع پرت شدنشان به‌بیرون می‌شود. چنانکه درشکل، (الف ۱۰—۱) نشان داده شده،




**شکل (۱۰-۱)— نیروی نگهدارندهٔ اجسام در حال دوران: در شکل (الف) وزنه دراثر نیروی کشش نخ در مدار دایره‌ای‌شکل دوران می‌کند. در شکل (ب) نیروی نگهدارندهٔ اجسام بر روی زمین، نیروی جاذبهٔ آن است که در ناحیهٔ استوایی امتداد نیروی جاذبه در صفحهٔ دوران، و درسایر مناطق، در خارج آن قرار دارد.**

درحالت وزنه و نخ، نیروی نگهدارندهٔ وزنه، درصفحهٔ دوران وزنه قرارگرفته است. ولی درمورد زمین، مطابق آنچه که درشکل (ب ۱۰-۱) نشان داده شده، نیروی نگهدارندهٔ اجسام، بجز درناحیهٔ استوایی، درسطح دوران آنها قرار ندارد.

به همین علت یک نیروی بازمانده[1]، وجود دارد که سبب راندن تمام اجسام به‌سوی منطقهٔ استوایی می‌گردد. همین نیروی بازمانده است که برآمدگی ناحیهٔ استوایی را موجب شده و باعث تراکم جرم در آنجا گشته است. این برآمدگی طوری است که زمانی که به‌ناحیهٔ استوایی می‌رسیم، سرابالایی شروع می‌شود.

میزان سرابالایی و تراکم جرم در ناحیهٔ استوایی، طوری است که مابین نیروی بازمانده—که اجسام را به‌سوی دایرهٔ استوا، می‌راند و نیروی لازم برای بالا رفتن از

1. Residual Force

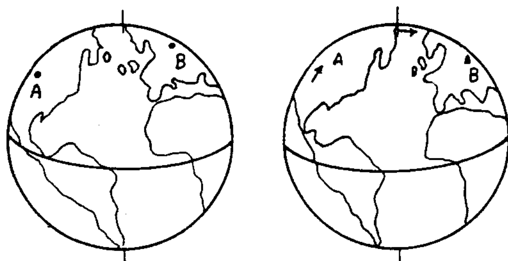
سرابالایی — تعادل بوجود آمده است. بنابراین شکل زمین درحال حاضر تغییری ندارد و بحالت تعادل رسیده است.

با وجود این اگر مقداری ماده در محلّی به‌غیر از ناحیهٔ استوایی بر زمین اضافه شود، نیروی بازمانده باعث می‌شود که این اضافهٔ جرم بسوی استوا حرکت کند. برای مثال چنانچه سلسله جبالی در محلّی در شمال استوا در حال تشکیل باشد، حرکتی به‌سوی دایرهٔ استوا خواهد داشت. البته چون سلسله جبال مذکور به‌پوستهٔ زمین متصل است، لذا تمامی پوسته، به‌آرامی حرکت کرده و جرم اضافی را به‌سمت استوا، می‌راند.

این لغزش پوستهٔ زمین بر روی امتداد محور چرخش آن، که امتدادی ثابت است، اثری ندارد. تنها چیزی که می‌تواند اتفاق بیفتد تغییر وضعیت خود زمین نسبت به‌محور چرخشی آنست. نتیجهٔ این عمل حرکت لرزشی[1] تمامی تودهٔ زمین نسبت به محور چرخشی آنست.

زمین دایماً دارای تغییراتی در توزیع جرم خود است. این تغییرات احتمالا در فواصل نامرتب، بوجود می‌آید و موجب ایجاد ضربه‌هایی در یک جهت و بعضی اوقات درجهت دیگر، می‌گردد. این پدیده شبیه پاندولی است که درحال نوسان بوده از جهات مختلف ضربات نامرتبی به‌آن وارد می‌شود. چنین پاندولی به‌حرکت نوسانی طبیعی خود ادامه می‌دهد و اغتشاشات نامرتبی که دراثر ضربه‌های منفرد ایجاد می گردد، بوسیلهٔ نوسانات طبیعی آن، پوشیده می‌ماند.

بعلت حرکت لرزشی زمین نسبت به‌محور چرخشی آن، عرض جغرافیایی هر-




شکل (۱۱-۱) — تغییرات عرض جغرافیایی؛ به‌علت صُلب بودن زمین، کاهش در عرض B برابر افزایش عرض A است. جابجایی نقطهٔ B در یک جهت و نقطهٔ A در جهت دیگر از ۵۰ فوت تجاوز نکرده است. ممکن است درگذشته‌های دور تغییرات بیشتری در عرض جغرافیایی اتفاق افتاده باشد.

1. Wobbly Motion

نقطه‌ای بر روی زمین، دچار تغییر می‌گردد. چنین تغییراتی که در عرض جغرافیایی پدیدار می‌گردد، از سال ۱۸۴۲ در چند رصدخانه[1] که در جهات مختلف نسبت به‌قطب قرار دارند، اندازه‌گیری شده است. این پدیده‌ها را در شکل (۱۱-۱) می‌توانید مشاهده کنید. بدین ترتیب که اگر عرض نقطهٔ A افزایش یافته است، عرض نقطهٔ B، در طرف دیگر قطب، به‌همان اندازه، کاهش داشته است. در این پدیده، امتداد محور چرخشی زمین در فضا تغییری نمی‌کند امّا در ایّام مختلف، نقاط گوناگونی بر روی کرهٔ زمین در حوالی قطبها، بر قطبهای چرخشی منطبق می‌شوند. به‌همین خاطر گاهی تغییرات عرض جغرافیایی را به‌نام سرگردانی قطب[2] می‌نامند.

تعیین تغییرات عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی زمین، یکی از دقیقترین اندازه‌گیریهای علوم فیزیک است. تغییرات عرض جغرافیایی در زمانهای مختلف، با دقتی تقریباً برابر با یک‌صدم ثانیه قابل تعیین است. این دقت، معادل اختلاف فاصله‌ای برای ۳۰سانتیمتر و یا تقریباً یک‌فوت است. چنین دقتی بیانگر یک‌قسمت از $10^{8}$ می‌باشد. شکل (۱۲-۱) حرکت قطب را بین سالهای ۱۹۴۱ و۱۹۴۷ نشان می‌دهد. از زمان اولین اندازه‌گیریهای تغییرات عرض جغرافیایی، قطبها درحدود ۵۰فوت تغییرمکان داده‌اند.

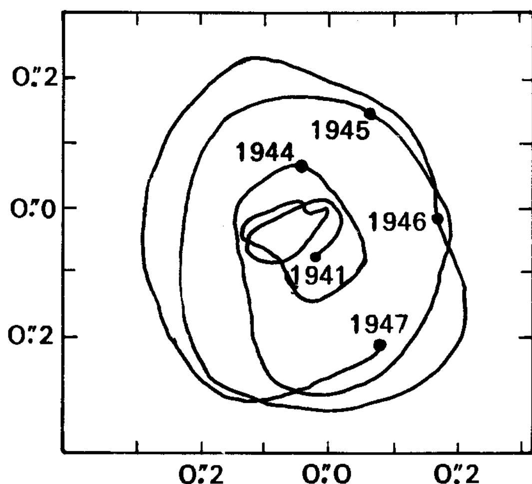
حرکت لرزشی زمین نسبت به‌محور چرخشی آن، یک حرکت نامرتبی است و به‌نام لرزش چاندلر[3]، نامیده می‌شود. در این حرکت، زمین در اطراف محور چرخشی خود در یک دورهٔ متغیر[4]، درحدود ۴۴۰ روز، حرکت می‌کند.

موضوع تغییرات عرض جغرافیایی، بدان جهت در این قسمت آورده شد که زمانی که تعیین دقیق عرض جغرافیایی خانهٔ کعبه، در فصل نهم کتاب، بمیان می‌آید، این گونه تغییرات را نیز می‌توان در دقت‌های زیاد درمدّ نظر داشت.

## ۵. تعیین طول جغرافیایی

طول جغرافیایی یک نقطه نسبت به‌نقطهٔ دیگر، برابر با اختلاف بین نصف‌النهارهای دو نقطه است که بصورت کمانی از دایرهٔ استوا محصور بین آنها اندازه‌گیری می‌شود. طول جغرافیایی، درصورتی که برحسب درجهٔ قوسی بیان شود تا ۱۸۰ درجه به‌سمت مشرق و یا به‌سمت مغربِ نصف‌النهاری ثابت که بعنوان مبدء انتخاب شده

1. Observatory 2. The Wandering of the pole 3. Chandler Wobble
4. Variable Period




**شکل (۱۲-۱)—سرگردانی قطب بین سالهای ۱۹۴۱ و ۱۹۴۷. امتداد محور چرخشی زمین در فضا ثابت است امّا نقاط مختلفی در زمانهای مختلف بر قطب منطبق شده‌اند.**

است، تغییر می‌کند. چنانکه قبلا نیز بیان شد، نصف‌النهار مبدئی که انتخاب شده و توسط اکثر ممالک، مورد قبول قرار گرفته، نصف‌النهار گرینیچ است. اختلاف طول جغرافیایی در دو نقطه، به‌اختلاف وقت هم زمان اندازه‌گیری شده در دو نقطه نیز بستگی دارد. اگر وقت محلی[1] نقطه‌ای را که در آن قرار گرفته‌ایم محاسبه کنیم و همچنین وقت محلی نقطهٔ دیگری را در همان زمان بدانیم، اختلاف بین دو وقت محلی برابر با اختلاف طول جغرافیایی دو نقطه برحسب زمان خواهد بود.

در این قسمت ابتدا روش ساده‌ای را برای تعیین طول جغرافیایی در نقاط ناشناخته ذکر کرده، آنگاه به‌چگونگی تعیین آن از روی نقشه، اشاره می‌کنیم و در پایان به‌روشهای نجومی که برای تعیین دقیق آن بکار گرفته می‌شود، بطور مختصر نظر خواهیم افکند. بیشتر روشها در این مطلب خلاصه می‌شود که می‌بایست اختلاف وقت را بین یک محل معین مانند گرینیچ و وقت محلی نقطهٔ مورد نظر بدست آورد. وقت محلی که نسبت به نصف‌النهار یک محل، مورد محاسبه قرار می‌گیرد، بسادگی از روی وقت استاندارد[2]، که نسبت به یک نصف‌النهار معین در منطقه سنجیده می‌شود، تعیین می‌گردد. این مطلب در فصل هفتم، تشریح شده است.

1. Local Time 2. Standard Time

### ۱ـ۵. تعیین طول جغرافیایی در نقطه‌ای ناشناخته و دوردست

روش ساده‌ای که در اینجا بیان می‌شود، می‌تواند برای تعیین طول جغرافیایی نقاط ناشناخته‌ای که حتی در نقشه‌های جغرافیایی دیده نمی‌شوند، بکار گرفته شود. تنها وسیلهٔ مورد لزوم، یک ساعت دقیق و یا یک کرونومتر[1] (زمان‌سنج) است. اساس این روش، بر اندازه‌گیری وقت در لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النهار محل استوار است. لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النهار محل را اصطلاحاً ظهر خورشیدی[2] (شمسی)، ظهر شمسی حقیقی[3] ظهر شمسی ظاهری[4] و یا به‌بیان دیگر ظهر شرعی می‌نامند.

در این روش، طول جغرافیایی محل، از روی فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$LAT = ST + EOT \pm LA\left(\frac{E}{W}\right) \qquad (1\text{-}3)$$

که در آن

LAT ـ وقت ظاهری محل[5] و یا وقت شمسی حقیقی[6] محل است که توسط ساعت خورشیدی نشان داده می‌شود.

ST ـ وقت استاندارد و یا وقتی است که توسط ساعت، در محل نشان داده می‌شود.

EOT ـ تعدیل زمان[7] (معادله زمان) برحسب دقیقه.

LA عبارت مربوط به تصحیح طول جغرافیایی[8] است و از روی رابطهٔ زیر برحسب دقیقهٔ زمانی بدست می‌آید:

LA = ۴ × (اختلاف بین طول جغرافیایی محل و طول جغرافیایی نصف‌النهار استاندارد[9] مربوط به‌وقت استاندارد در منطقه) (۱ـ۴)

حروف E و W و علامتهای بعلاوه (+) و منها (−) بدان معنی است که اگر محل مورد نظر، در مشرق نصف‌النهار استاندارد[1] قرار گرفته باشد، علامت (+) و در صورتی که در مغرب آن باشد، علامت (−) بکار می‌رود.

فرمولهای فوق، به‌تفصیل در فصل دهم شرح داده شده‌اند.

در لحظهٔ ظهر خورشیدی ۱۲ ـ LAT است. مقادیر تعدیل زمان (EOT) را می‌توان یا محاسبه کرد و یا از جدول (۳ـ۷) در فصل هفتم بدست آورد. وقت استاندارد از ساعت معمولی که مطابق وقت استاندارد، میزان شده باشد، بدست می‌آید. وقت

1. Chronometer 2. Solar Noon 3. Real Solar Noon
4. Apparent Solar Noon 5. Local Apparent Time 6. (Real) Solar Time
7. Equation of Time 8. Longitude Adjustment
9. Standard Meridian

استاندارد برای نصف‌النهار مشخصی است که به‌نام نصف‌النهار استاندارد در یک منطقهٔ استاندارد[1]، نامیده می‌شود. مثلا نصف‌النهار استاندارد مربوط به‌وقت استاندارد و یا رسمی در ایران ۵۲/۵ درجه طول شرقی است. یعنی وقتی که رادیو ایران ساعت ۱۲ ظهر را اعلام می‌کند. این بدین معنی است که خورشید میانگین[2] بر بالای نصف‌النهار ۵۲/۵ درجهٔ شرقی قرار گرفته است. خورشید میانگین خورشیدی است فرضی که با سرعتی یکنواخت ظاهراً در مسیر استوای سماوی[3]، یک بار در ۲۴ ساعت به‌دور زمین می‌گردد. کلمهٔ ظاهراً بدان معنی است که درحقیقت، این زمین است که یک بار به‌دور خود می‌چرخد و چنین بنظر می‌رسد که خورشید یک بار به‌دور آن گشته است. توضیح بیشتر این مطالب را در فصل هفتم بخوانید.

با توضیحاتی که داده شد، روش کار بدین گونه است که دریابیم که در لحظهٔ ظهر خورشیدی، یک ساعت دقیق و میزان‌شده، چه وقتی را نشان می‌دهد. چگونگی تعیین لحظهٔ ظهر خورشیدی، قبلا در مطلب شمارهٔ (۱-۲) این فصل عنوان شده است.

حال برای درک بهتر مطلب، به‌ذکر مثالی می‌پردازیم:

**مثال (۱-۱)**— در نقطه‌ای ناشناخته، بعد از تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، لحظهٔ ظهر خورشیدی، برابر ۱۷ دقیقه بعدازظهر به‌وقت رادیو ایران در روز ۲۱ آذرماه ۱۳۶۳، تعیین شده است. طول جغرافیایی محل چقدر است؟

راه‌حل — در روز ۲۱ آذرماه ۶۳ (معادل دوازدهم دسامبر ۱۹۸۴ میلادی) اندازهٔ تعدیل زمان در جدول شمارهٔ (۳-۷) برابر با (۶+) دقیقه و ۳۴ ثانیه است (دقیقه ۶/۵۷+ = EOT) و چون در لحظهٔ ظهر خورشیدی، وقت ساعت خوانده شده، لذا ۱۲ = LAT است. اگر اختلاف دو طول جغرافیایی را X بنامیم، با استفاده از روابط (۱-۳) و (۱-۴) می‌توانیم بنویسیم:

ساعت ۱۲ = ساعت ۱۲ و دقیقه ۱۷ + (دقیقه ۶/۵۷+) ± ۴ X

±۴X = −۲۳/۵۷

±X = −۵/۸۹۲۵

X نمایانگر اختلاف دو طول است و لذا می‌تواند بدون علامت باشد، پس:

X = ۵/۸۹۲۵

نتیجه اینکه، اختلاف بین طول جغرافیایی محل مورد نظر و نصف‌النهار ۵۲/۵ درجهٔ شرقی برابر با ۵/۸۹۲۵ درجه است. یعنی طول جغرافیایی محل مورد نظر، هم

1. Standard Zone    2. Mean Sun    3. Celestial Equator

می‌تواند برابر با ۵۲/۵ درجه بعلاوهٔ ۵/۸۹۲۵ درجه، یعنی ۵۸/۳۹۲۵ درجهٔ شرقی باشد و هم برابر با ۵۲/۵ درجه، منهای ۵/۸۹۲۵ درجه، یعنی ۴۶/۶۰۷۵ درجه شرقی باشد. پیدا کردن اینکه کدامیک صحیح است کار ساده‌ای است. کافی است در فرمولهای بکار رفته، مقدار ST را مجهول بگیریم و معادله را با جوابهای بدست آمده، دوباره حل کنیم. هر کدام که جواب ST را صحیح بدست داد یعنی ST برابر با ۱۷ دقیقهٔ بعدازظهر شد، جواب صحیح مسئله است. با توجه به‌این امر دو جواب بدست‌آمده را به‌شرح زیر کنترل می‌کنیم. اول برای جواب ۵۸/۳۹۲۵ درجه طول شرقی:

۱۲ = ST + (+۶/۵۷) + ۴ (۵/۸۹۲۵)

ST = ساعت ۱۲ و دقیقه ۳۰/۱۴

و درمورد جواب ۴۶/۶۰۷۵ درجهٔ طول شرقی خواهیم داشت:

۱۲ = ST + (+۶/۵۷) − ۴ (۵/۸۹۲۵)

ST = ساعت ۱۲ و دقیقه ۱۷

که درنتیجه، این جواب صحیح است یعنی طول جغرافیایی محل مورد نظر ۴۶/۶۰۷۵ درجهٔ شرقی است. باید توجه داشت که در این رابطهٔ اخیر چون ۴۶/۶۰۷۵ درجهٔ طول شرقی در مغرب نصف‌النهار استاندارد (۵۲/۵ درجهٔ شرقی) قرار دارد، علامت منها (—) منظور شده است و در رابطهٔ قبل، چون ۵۸/۳۹۲۵ درجهٔ طول شرقی در مشرق نصف‌النهار استاندارد واقع شده، لذا علامت بعلاوه (+) بکار رفته است.

همچنین می‌شد بدون انجام این محاسبات، با توجه به‌علامت مقدار ($X \pm$) که برابر با ۵/۸۹۲۵— درجه شده است، نتیجه را نیز حدس زد. وقتی که این علامت منفی باشد محل مورد نظر در مغرب نصف‌النهار استاندارد است و لذا باید ۵/۸۹۲۵ درجه را از ۵۲/۵ درجه طول شرقی کم کرد. و وقتی که علامت مقدار بدست آمده برای مقدار ($X \pm$) مثبت باشد، محل مورد نظر در مشرق نصف‌النهار استاندارد قرار گرفته است، لذا باید تفاوت بدست آمده را به‌۵۲/۵ درجه طول شرقی اضافه کرد.

دقت این روش، بستگی به‌دقت بکار رفته در تعیین لحظهٔ ظهر خورشیدی دارد. البته مقادیر تعدیل زمان را می‌شود از جدول نجومی، دقیقاً برای وقت معین استخراج کرد. چنین مقادیری قطعاً جواب دقیقتری از طول جغرافیایی را بدست خواهد داد. امّا از آنجایی که کل روش را نمی‌توان بعنوان یک روش خیلی دقیق بحساب آورد، لذا می‌توان همان مقادیر تعدیل زمان مندرج درجدول را بکار برد.

### ۲ـ۵. تعیین طول جغرافیایی از روی نقشه

طول جغرافیایی (۸) یک محل را می‌توان از روی نقشه‌هایی که دارای این مشخصه، باشند، بسادگی بدست آورد: درصورتیکه مقیاس نقشه، بزرگ باشد، دقت عمل، می‌تواند تا حدود دقیقه و یا کسری از آن باشد. کافی است محل موردنظر را بر روی نقشه پیدا کنیم و با توجه به خطوط مربوط به‌طول جغرافیایی، از راه محاسبه و یا از راه ترسیم، طول جغرافیایی محل را بدست آوریم. امّا درصورتیکه نتوان محل مورد نظر را بر روی نقشهٔ موجود مشخص کرد، می‌توان روش ذکرشدهٔ قبلی را به‌کار برد.

گاهی اوقات نقشهٔ موجود در دسترس، دارای مشخصهٔ طول و عرض جغرافیایی نیست، در اینصورت به‌شرح زیر، طول جغرافیایی محل را پیدا می‌کنیم:

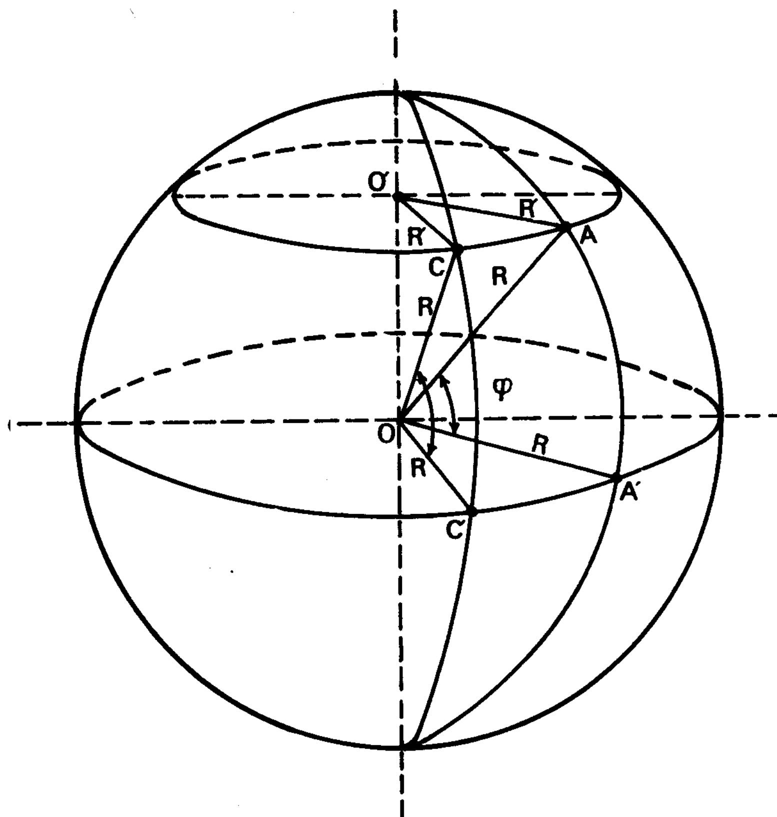
این روش نیز همانند روش مربوط به‌تعیین عرض جغرافیایی است که در مطلب شمارهٔ (۳ـ۲) در این فصل و شکل (۷ـ۱) مربوط به‌آن، گفته شد. در آنجا گفتیم که طول AC ، برای تعیین طول جغرافیایی، بکار خواهد رفت و با توجه به‌طول BC عرض جغرافیایی محل B را از روی عرض جغرافیایی نقطهٔ A که معلوم فرض شده بود، بدست آوردیم. در اینجا هم طول جغرافیایی محل B را از روی طول جغرافیایی محلِ معلوم محاسبه می‌کنیم. درمورد محاسبهٔ عرض جغرافیایی، مسئلهٔ ساده بود و دیدیم که فاصلهٔ یک دقیقهٔ عرض جغرافیایی در امتداد خط شمالی جنوبی معادل ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. امّا درمورد طول جغرافیایی، مطلب به‌این اندازه ساده نیست. فاصلهٔ شرقی غربی معادل یک درجهٔ طول جغرافیایی، با اندازهٔ عرض جغرافیایی تغییر می‌کند.

در شکل (۱۳ـ۱) نقاط A و C نمایانگر دو محل با عرض جغرافیایی برابرند و بعبارت دیگر بر روی یک مدار، قرار گرفته‌اند و فرض می‌کنیم که عرض جغرافیایی آنها برابر $\varphi$ باشد. می‌دانیم که اندازهٔ کمان A'C' برحسب درجه، برابر با اختلاف طول جغرافیایی نقاط A و C است؛ البته این مطلب، درصورتی صحیح است که هردو نقطه یک طرف نصف‌النهار مبدء قرار گرفته باشند. همچنین اندازهٔ کمان AC برحسب درجه برابر کمان A'C' است. اگر شعاع زمین R باشد، بسادگی طول کمان A'C' را می‌شود محاسبه کرد:

$$\text{A'C' طول کمان} = \frac{۲ \times \pi \times R}{۳۶۰^\circ} \times (\text{اندازه کمان A'C' برحسب درجه})$$

بهمین ترتیب اگر شعاع مدار AC برابر R' باشد ( O'B = O'C = R' )

$$\text{طول کمان AC} = \frac{۲ \times \pi \times R'}{۳۶۰^\circ} \times \text{(اندازه کمان AC برحسب درجه)}$$




شکل (۱۳-۱)—محاسبهٔ طول شرقی-غربی برحسب اختلاف طول جغرافیایی دو نقطه.

بنابراین، داریم:

در مثلث قائم‌الزاویه $OO'C$ زاویهٔ $O'OC$ برابر با $(۹۰^\circ - \varphi)$ است و درنتیجه خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{O'OC} = \sin(۹۰^\circ - \varphi) = \cos\varphi = \frac{O'C}{OC} = \frac{R'}{R}$$

$$R' = R\cos\varphi$$

$$\frac{\text{طول کمان } A'C'}{\text{طول کمان } AC} = \frac{1}{\cos\varphi} \qquad (۱-۵)$$

حال به‌شکل (۱-۷) برمی‌گردیم. طول تعیین‌شدهٔ AC بر روی نقشه، تقریباً می‌تواند معادل طول کمان AC فرض شود، چه نقاط A و C نسبت به‌اندازه‌های کرهٔ زمین بسیار بهم نزدیک انتخاب شده‌اند. با توجه به‌فاصله‌هایی که قبلا برای یک درجهٔ طول جغرافیایی در ناحیه استوایی داده شد، فاصلهٔ یک دقیقهٔ طول جغرافیایی در ناحیهٔ استوایی برابر ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. درنتیجه، با استفاده از رابطهٔ فوق طول کمان AC برای حالتی که اندازهٔ کمان A'C' برابر یک دقیقه باشد، بسادگی محاسبه می‌گردد. این طول برابر ($۱/۸۵\cos\varphi$) کیلومتر و یا ($۱/۱۵\cos\varphi$) مایل خواهد بود. درنتیجه، طول تعیین شدهٔ AC بر روی نقشه ، و برحسب کیلومتر معادل $\frac{۰/۵۴\,AC}{\cos\varphi} = \frac{AC}{۱/۸۵\cos\varphi}$ دقیقهٔ طول جغرافیایی است. حال اگر مثلا طول جغرافیایی نقطهٔ A شرقی باشد، چون نقطهٔ مورد نظر در مغرب آن است، لذا باید معادل ($\frac{۰/۵۴AC}{\cos\varphi}$) دقیقه، از طول جغرافیایی آن کاسته گردد، تا طول جغرافیایی محل موردنظر بدست آید.

البته کاربرد این روش نیز درصورتی است که محل مورد نظر، بر روی نقشه، مشخص باشد، در غیر این صورت روش قبلی را می‌توان بکار گرفت.

در اینجا جا دارد که به‌چگونگی محاسبهٔ فاصلهٔ دو محل که دارای عرض جغرافیایی برابرند، نیز اشاره شود. با توجه به‌آنچه که در بالا شرح داده شد، فاصلهٔ دو محل، که دارای عرض برابرند، برحسب مایل دریایی[1] و در امتداد مداری که از آنها می‌گذرد، برابر است با:

(تفاوت طول جغرافیایی دو محل برحسب دقیقه) × $\cos\varphi$

این فاصله، بیشتر در دریانوردی کاربرد دارد که اصطلاح مربوط به‌آن در پاورقی[2] داده شده است.

در ادامهٔ مطلب، بطور اختصار به‌شرح چند روش معمول در نجوم و نقشه‌برداری که برای تعیین طول جغرافیایی یک محل به کار می‌روند، می‌پردازیم:

1. Nautical Mile 2. Departure

### ۵ـ۳. تعیین طول جغرافیایی از طریق اندازه‌گیری وقت نجومی

در این روش مبنای کار، تعیین وقت نجومی[1] است که براساس رصد ستارگان در حرکت شبانه‌روز آنها استوار است. وقت نجومی به‌تفصیل در فصل هفتم شرح داده شده است. دایره‌ای که بعنوان مبنا در تعیین وقت نجومی، بکار می‌رود، نصف‌النهار سماوی محل[2] است که از سمت‌الرأس ناظر و قطبهای سماوی[3] می‌گذرد. درحقیقت اگر صفحهٔ نصف‌النهار محل بر روی زمین را امتداد دهیم، کرهٔ سماوی را در دایرهٔ عظیمه‌ای قطع می‌کند که همان نصف‌النهار سماوی محل است. روز نجومی فاصلهٔ زمانی[4] بین دو دوگذر پیاپی نقطهٔ اعتدال بهاری[5]، از نصف‌النهار محل است.

طول جغرافیایی یک محل بر روی زمین برابر با اختلاف بین وقت نجومی آن و وقت نجومی گرینیچ درکشور انگلستان است.

در عمل، وقت نجومی یک محل از رصد یک ستاره که مختصات آن، به‌دقت اندازه‌گیری شده است، تعیین می‌گردد.

### ۵ـ۴. تعیین طول جغرافیایی ازطریق حمل و نقل یک زمان‌سنج

اصولا زمان‌سنج (کرونومتر) ساعتی است که زمان را با دقت زیاد اندازه‌گیری می‌کند و بیشتر در دریانوردی برای تعیین موقعیت، در دریا بکارمی‌رود. معمولا زمان‌سنج مطابق وقت گرینیچ میزان می‌شود، یعنی وقت متوسط گرینیچ را نشان می‌دهد. هرروز دقت زمان‌سنج با رادیو مقایسه می‌شود و لذا میزان تند و یا کند کارکردن آن[6]، در ۲۴ ساعت معلوم می‌گردد.

در این روش، زمان‌سنجی که میزان تند و یا کند کارکردن آن دقیقاً معلوم شده، مطابق وقت دقیق یک محل معین، میزان می‌گردد. آنگاه زمان‌سنج به‌محل دیگری که طول جغرافیایی آن را نمی‌دانیم برده می‌شود. در محل جدید وقت دقیق محلی از راه مشاهدات نجومی تعیین شده و نتیجهٔ آن با وقتی که زمان‌سنج نشان می‌دهد مورد مقایسه قرارمی‌گیرد. با درنظر گرفتن طول مدت انتقال، و درنتیجه، تعیین اندازهٔ مقدار تند و یا کند کارکردن زمان‌سنج در این مدت، از روی اختلاف وقت نشان داده شده توسط زمان‌سنج، و وقت تعیین‌شده از روی مشاهدات نجومی در محلّ دوم، اختلاف طول جغرافیایی دو محل، محاسبه می‌شود. البته باید توجه داشت که میزان

1. Sidereal Time 2. Local Celestial Meridian 3. Celestial Poles
4. Interval of Time 5. Vernal Equinox 6. Error

تند و یا کند کار کردن یک زمان‌سنج، بهنگامی که بصورت ثابت قرار گرفته و یا در حین نقل و انتقال است، برابر نیست. لذا می‌بایست در اندازه‌گیریهای دقیق، این مطلب را درمدّ نظر داشت.

این روش، امروزه در نقشه برداری، کاربرد ندارد مگر در صورتی که بی‌سیم و یا تلگراف در دسترس نباشد. امّا این روش هنوز در دریانوردی برای تعیین طول جغرافیایی بکار می‌رود.

## ۵-۵. تعیین طول جغرافیایی بوسیلهٔ تلگراف

اگر دو محل مورد نظر بوسیلهٔ تلگراف با هم ارتباط داشته باشند، می‌توان با ارسال علایم تلگرافی از هردو محل وقت دقیق محلی را، که وسیلهٔ کرونومتر نشان داده می‌شود، اعلام کرده و با توجه به‌متوسط اختلاف وقت بین دو محل، طول جغرافیایی را محاسبه کرد. ارسال علایم از هردوسو و بدست آوردن متوسط دو اختلاف وقت، به‌منظور حذف اثر وقت تلف شده در مدت ارسال علایم است.

## ۵-۶. تعیین طول جغرافیایی بوسیلهٔ بی‌سیم

توسعهٔ ارسال علایم بی‌سیم، تعیین وقت معادل نصف‌النهار مبدء (گرینیچ) را در تمام نقاط دنیا ممکن ساخته است و درنتیجه، تعیین طول جغرافیایی آسانتر شده است.

در حال حاضر علایم بی‌سیم مربوط به‌اعلام وقت، در نقاط مختلف دنیا و دراوقات معین، ارسال می‌گردد.

اگر وقت متوسط محلّی[1] یک مکانی را بدانیم و هم‌زمان با آن، وقت متوسط گرینیچ[2] را نیز در دست داشته باشیم، از تبدیل اختلاف وقت به‌درجه، طول جغرافیایی محل، محاسبه می‌گردد. اگر وقت متوسط محلّی از وقت متوسط گرینیچ جلوتر باشد، مکان در مشرق نصف‌النهار گرینیچ، و درصورتیکه از وقت گرینیچ عقب‌تر باشد، در مغرب نصف‌النهار گرینیچ قرار خواهد داشت. تنها مشکل این روش تعیین وقت متوسط گرینیچ در لحظهٔ تعیین وقت متوسط محلی است که این مشکل نیز از طریق گرفتن سیگنال‌های رادیویی ارسالی از گرینیچ، قابل حل است.

در ادامهٔ مطلب فقط بعنوان نمونه به‌چند روش دیگر که فقط جنبهٔ تاریخی

1. Local Mean Time 2. Greenwich Mean Time

دارند و درحال حاضر، مورد استفاده نیستند، اشاره می کنیم.

**۵-۷. تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد ماه و ستاره‌ای که از نصف‌النهار یک محل بصورت تقریباً همزمان می‌گذرند[1].**

**۵-۸. تعیین طول جغرافیایی از طریق رصدِ علایم فلکی[2].**

**۵-۹. تعیین طول جغرافیایی از طریق فواصل ماه[3].**

1. Moon Culminating Stars 2. Celestial Signals 3. Lunar Distances

# فصل دوّم

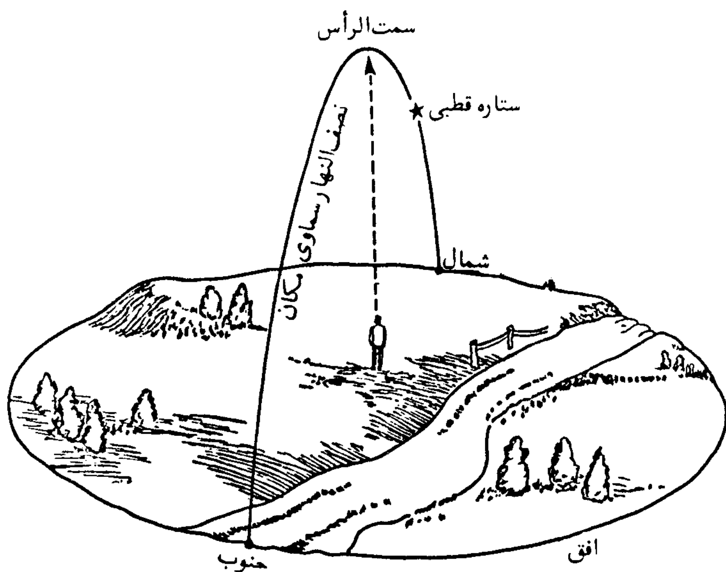
## جهت یابی ــ تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی

بعد از تعیین طول و عرض جغرافیایی یک محل، قدم بعدی، برای یافتن جهت قبله، تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی[1] آن است. و چنانکه خواهیم دید، آن را امتداد شمال و جنوب واقعی[2] نیز می‌نامند. همچنین در فصل اوّل در بخشهای مربوط به‌تعیین طول و عرض جغرافیایی نقاط ناشناخته ــ مطلب شمارهٔ (۱ـ۲) و (۱ـ۵) ــ هم دیدیم که تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در این گونه موارد نیز لازم بود. در علم جغرافی، نصف‌النهار جغرافیایی[3] یک محل، نیمدایره‌ای فرضی بر روی کرهٔ زمین است که بر صفحهٔ استوا عمود بوده، از قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی می‌گذرد. وقتی که این نیمدایره بر سطح مکانی بر روی زمین تصویر گردد، خط حاصل خط نصف‌النهار[4] و یا به‌عبارت دیگر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و یا واقعی آن مکان است.

در نجوم، از تصویر نصف‌النهار جغرافیایی بر کرهٔ سماوی، نصف‌النهار سماوی[5] حاصل می‌گردد. نصف‌النهار سماوی که از نقاط شمال و جنوب جغرافیایی افق یک محل و سمت‌الرأس آن می‌گذرد، بعنوان نصف‌النهار نجومی محلی ، نامیده می‌شود. در شکل (۱ـ۲) نصف‌النهار نجومی یک محل نمایانده شده است.

در کلاسهای ابتدایی می‌خواندیم که اگر در حالت ایستاده دستهای خود را به‌دو طرف و در امتداد شانه ها طوری باز کنیم که دست راست ما به‌طرف مشرق (محل طلوع آفتاب) و دست چپ ما به‌طرف مغرب (محل غروب آفتاب) قرار گیرد، روبروی ما جهت شمال و پشت سر ما جهت جنوب خواهد بود. این خود روش ساده‌ای برای تعیین

1. Geographical North–South Direction
2. True North–South Direction
3. Georaphical Meridian
4. Meridian Line
5. Local Astronomical Meridian




شکل (۱-۲) — نصف‌النهار سماوی یک محل.

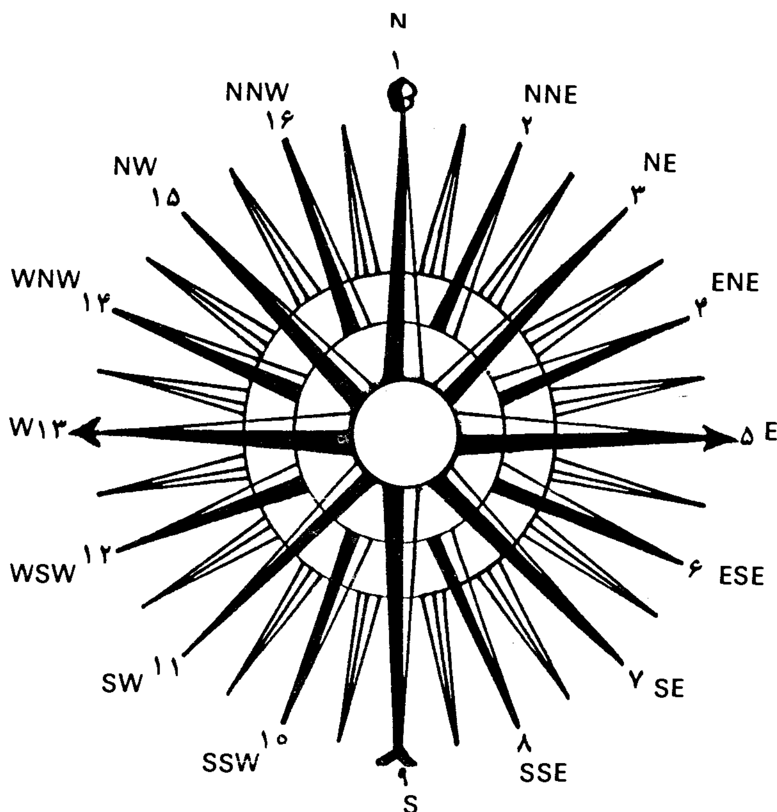
جهات اصلی[1] و یا جهات چهارگانه است. اما شرط اصلی در این روش، دانستن محل طلوع و غروب آفتاب در افق منطقه است. البته چنانکه بعداً خواهیم دید فقط در اوّل بهار و پاییز است که محل طلوع و غروب خورشید دقیقاً در مشرق و مغرب واقعی ناظر قرار می‌گیرد. در سایر اوقات محل آنها از مشرق و مغرب واقعی ناظر، فاصله می‌گیرد بطوریکه در اوّل تابستان و زمستان، در دورترین وضعیت خود نسبت به‌مشرق و مغرب واقعی ناظر، قرار دارند.

این روش ساده از تعریف جهات اصلی، ناشی شده است. بدین ترتیب که افق هر نقطه، مدار آن محل را در دو نقطه و خط نصف‌النهار آن را نیز در دو نقطه دیگر قطع می‌کند؛ بطوریکه خط واصل میان دو نقطهٔ اوّل بر خط واصل میان دو نقطهٔ دوّم عمود است. از دو نقطهٔ اوّل، آنکه در سمت طلوع خورشید است، مشرق یا خاور و آنکه در سوی مقابل آن واقع شده، مغرب یا باختر نامیده می‌شوند. از دو نقطهٔ دوّم محلی که درطرف چپ شخصي که روبروی مشرق ایستاده است، قرار دارد، شمال و نقطهٔ دیگر را که

1. Cardinal Points

درمقابل آن است جنوب می‌گویند.

علاوه‌بر جهات اصلی، به‌منظور اینکه امتدادها را با دقت بیشتری تعیین کنند، جهات فرعی[1] نیز شناسانده شده‌اند. بدین ترتیب که فاصلهٔ بین چهار نقطهٔ شمال، جنوب، مشرق و مغربِ دایرهٔ افق هر محل را به‌چهار قسمت برابر تقسیم می‌کنند: هریک از زوایای قائمه میان جهات اصلی به‌چهار قسمت مساوی دیگر تقسیم می‌شوند که در نتیجه، دوازده نقطه، یا جهت دیگر، بدست می‌آید که به‌آنها جهات فرعی می‌گویند. اسامی جهات فرعی غیر از جهات اصلی، به‌ترتیب عقربه‌های ساعت از سمت شمال، بطوری که در شکل (۲-۲) نمایانده شده، عبارت است از: ۱. شمالِ شمال شرقی




شکل (۲-۲)—جهات اصلی و فرعی.

1. Sub Cardinal Points

۲. شمال شرقی ۳. شرقِ شمال شرقی ۴. شرقِ جنوب شرقی ۵. جنوب شرقی ۶. جنوبِ جنوب شرقی ۷. جنوبِ جنوب غربی ۸. جنوب غربی ۹. غربِ جنوب غربی ۱۰. غربِ شمال غربی ۱۱. شمال غربی ۱۲. شمالِ شمال غربی.

علاوه‌بر روش سادهٔ مذکور، ممکن است از قطب‌نما برای مشخص کردن جهات اصلی استفاده کرد. امّا قطب‌نما فقط جهت قطبهای مغناطیسی کرهٔ زمین را معلوم می‌کند، که جز در مکان‌های معین، این جهت منطبق بر جهت شمال و جنوب جغرافیایی نیست. در حقیقت اصطلاح جنوب و یا شمال واقعی[1] به‌منظور تشخیص آن از جنوب یا شمال مغناطیسی[2]، وضع شده است.

در این فصل، ابتدا چندین روش ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی ارائه‌شده، سپس بطور خلاصه روشهای دقیق معمول در نجوم و نقشه‌برداری، بیان گردیده‌است

## ۱. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن دو ارتفاع برابر خورشید در صبح و بعدازظهر (روش دایرهٔ هندی)

قدما خط نصف‌النهار یک محل را با مشخص کردن دو ارتفاع مساوی خورشید، در صبح و بعد از ظهر تعیین می‌کردند. این روش هنوز هم توسط منجمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت این روش در اینست که در روز روشن قابل اجراست و نیازی به‌رصد شبانه نیست. امّا در عوض، وقت می‌گیرد و در حدود کمتر از یک روز طول می‌کشد. چنانکه قبلا در فصل اوّل در مطلب شمارهٔ (۱-۲) و شکل (۴-۱) بیان شد، آزمایش، با رسم چند کمان متحدالمرکز بر روی یک صفحهٔ افقی و علامت‌گذاری نوک سایهٔ یک میلهٔ قائم بر روی همان کمان، در دو وقت صبح و بعد ازظهر صورت می‌گیرد. علت رسم چند کمان بدانجهت است که بتوان علامت‌گذاری را درمورد چند کمان انجام داد، که در این صورت متوسط اندازه‌گیریها امتداد دقیقتری را بدست خواهد داد. و بعلاوه در صورت ابری بودن هوا درمورد یک کمان خاص، می‌توان آزمایش را با کمانهای دیگر ادامه داد.

نکتهٔ قابل توجه، اینکه در این روش از تغییرات میل خورشید در طول روز چشم‌پوشی می‌شود. لذا اگر آزمایش در اوایل تابستان و زمستان، که تغییرات میل خورشید کم است، صورت گیرد، نتیجهٔ کار دقیقتر خواهد بود. همچنین بعلت طول مدت

1. True North (South) 2. Magnetic North (South)

آزمایش، ممکن است میزان شکست نور در اتمسفر زمین در صبح و بعد از ظهر یکنواخت نباشد و درنتیجه تولید خطا گردد.

تصحیح مربوط به‌شکست نور، در فصل ششم آمده است.

مطلب دیگر در این روش مسئلهٔ شکل زمین است که کاملا کروی فرض شده و چنین تصور می‌شود که امتداد خط شاقول همیشه از مرکز زمین می‌گذرد که این تصور همیشه درست نیست. چگونگی این مطلب در فصل هشتم بیان شده است.

## ۲. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه تعیین لحظهٔ ظهر خورشیدی

این روش، ساده بوده و بر تعیین وضعیت خورشید در لحظهٔ ظهر خورشیدی استوار است. چنانکه قبلا هم گفته شد، در لحظهٔ ظهر خورشیدی، خورشید از صفحهٔ نصف‌النهار محل گذر می‌کند. به‌همین خاطر با تعیین وضعیت خورشید در لحظهٔ ظهر خورشیدی، از راه مشخص کردن امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم، می‌توان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یک محل را تعیین کرد. لذا در این روش، ابتدا می‌بایست لحظهٔ ظهر خورشیدی را قبلا مشخص کرد. برای محاسبهٔ وقت ظهر خورشیدی، از فرمول (۳-۱) استفاده می‌شود. این فرمول در فصل اوّل داده شده و در فصل هفتم، دربارهٔ آن توضیح بیشتری داده شده است. برای روشن شدن نحوهٔ استفاده از فرمول، به‌ذکر مثالی در این مورد مبادرت می‌کنیم و سپس مطلب را پی می‌گیریم:

**مثال (۱-۲)** — تعیین کنید که درچه ساعتی درمحلی با طول جغرافیایی ″۳۹ ′۲۵ °۵۱ شرقی در تهران و در روز بیست‌ودوّم مهرماه، ظهر خورشیدی واقع می‌شود.

**راه حلّ:** نصف‌النهار استاندارد در ایران °۵۲/۵ شرقی است و نصف‌النهار محل که °۵۱/۴۲۷۵ است، درمغرب نصف‌النهار استاندارد قرار گرفته است. در لحظهٔ ظهر شرعی LAT = ۱۲ بوده و لذا با استفاده از فرمول (۳-۱) و (۴-۱) خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + EOT - LA$$

$$LA = ۴ \times (۵۲/۵ - ۵۱/۴۲۷۵) = ۴/۲۹ \quad \text{دقیقه}$$

اندازهٔ EOT در روز بیست‌ودوّم مهرماه (چهاردهم اکتبر)، با استفاده از جدول (۳-۷) در فصل هفتم، برابر با ۱۳+ دقیقه و ۴۷ ثانیه است پس:

$$۱۲ = ST + ۱۳/۷۸۳۳ - ۴/۲۹$$

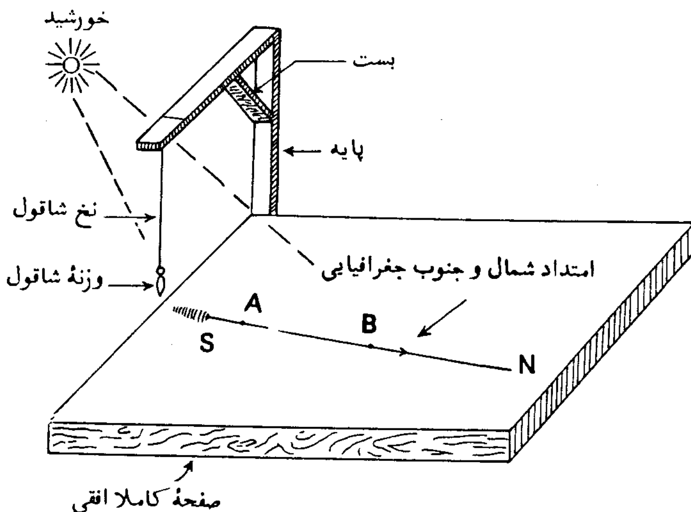
ST = ساعت ۱۱ دقیقه ۵۰/۵۰۶۶۷

ST = ساعت ۱۱ دقیقه ۵۰ ثانیه ۳۰/۴

بنابراین در محل مذکور، در زمانی که یک ساعتِ میزان شده، ساعت ۱۱ و ۵۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه را نشان می‌دهد، خورشید از نصف‌النهار محل گذر می‌کند. و چنانکه می‌بینیم در لحظهٔ ظهر خورشیدی، ساعت، لزوماً ۱۲ را نشان نمی‌دهد.

این مثال در حقیقت، نحوهٔ محاسبهٔ تقریبی ظهر شرعی را مشخص می‌سازد. البته با بکار بردن مقادیر دقیقتر تعدیل زمان که از جدول نجومی، قابل استخراج است، می‌توان به‌جواب دقیقتری رسید. جا دارد که مقادیر دقیق تعدیل زمان، سالیانه استخراج شده و در اختیار عموم قرار داده شود.

پس از تعیین لحظهٔ ظهر خورشیدی، مطابق شکل (۳-۲)، صفحه‌ای کاملا افقی را انتخاب می‌کنیم و در کنار آن یک شاقول توسط یک پایه قرار می‌دهیم. باید توجه داشت که در لحظهٔ تعیین امتداد سایهٔ نخ شاقول، شاقول کاملا بی‌حرکت باشد. لذا می‌بایست وزنهٔ شاقول تا حدی سنگین باشد که نوسانات آن زودتر گرفته شود. درمرحلهٔ بعد ساعت خود را دقیقاً مطابق وقت رادیو میزان می‌کنیم و چند دقیقه قبل از وقت محاسبه شدهٔ ظهر خورشیدی، درکنار شاقول می‌ایستیم. سپس درست در لحظهٔ محاسبه شده امتداد سایهٔ نخ شاقول را بر روی صفحه مشخص می‌سازیم. بدین طریق که دو




شکل (۳-۲) — تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظهٔ ظهر خورشیدی.

نقطه مانند A و B را بر روی سایهٔ مورد نظر تعیین کرده، سپس آنها را بوسیلهٔ یک خط مستقیم بیکدیگر متصل می کنیم. خط AB امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل است. جهت شمال جغرافیایی نیز مشخص است، چه، سایه در نیم کرهٔ شمالی[1] بطرف شمال قرار می‌گیرد و در نیم کرهٔ جنوبی[2]، بسمت جنوب واقع می‌شود.

این یکی از روشهای ساده و دقیق تعیین خط نصف‌النهار یک محل است و دیگر نیازی به رصد ستارهٔ قطبی در شب و وسایل نجومی نیست. بدین ترتیب بمقدار زیادی در وقت مورد لزوم برای محاسبه و رصد ستاره، صرفه‌جویی می‌شود. البته در این روش نیز فرض بر اینستکه زمین کاملا کروی بوده و امتداد شاقول از مرکز آن می‌گذرد.

## ۳. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با مشخص کردن کوتاه‌ترین طول سایهٔ یک میلهٔ قائم

در این روش، طول سایهٔ یک میلهٔ قائم، بر روی یک صفحهٔ کاملا افقی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانکه می‌دانیم، طول سایه، در ساعات اولیهٔ صبح درازتر بوده و بطرف مغرب متمایل است. هرچه آفتاب بالاتر می‌آید طول سایه کوتاهتر شده و در نیم کرهٔ شمالی بسوی شمال قرار می‌گیرد. در ساعات اولیهٔ بعد از ظهر، طول سایه مجدداً افزایش یافته، بطرف مشرق متمایل می‌گردد. حداقل طول سایه، در لحظهٔ گذر خورشید از نصف‌النهار محل صورت می‌گیرد. بنابراین در لحظه‌ای که طول سایهٔ میله قائم بر روی صفحهٔ افقی بحداقل خود می‌رسد، لحظهٔ ظهر خورشیدی می‌باشد و امتداد سایه، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است.

این روش در حقیقت توسط مسلمین برای تعیین ظهر شرعی بکار گرفته می‌شود که توجه به‌جهت سایه در لحظهٔ ظهر شرعی خود نیز می‌تواند در پیدا کردن جهت قبله مورد استفاده قرار گیرد.

در این روش بیشترین ارتفاع خورشید بعنوان ارتفاع نصف‌النهاری در نظر گرفته می‌شود. امّا در حقیقت بعلت تغییر میل خورشید، بیشترین ارتفاع خورشید در یک روز معین، دقیقاً برابر ارتفاع نصف‌النهاری آن، نیست. امّا تفاوت بین بیشترین ارتفاع (کوتاه‌ترین طول سایه) و ارتفاع نصف‌النهاریِ (ظهر خورشیدی) خورشید، معمولا در حدود کسری از ثانیه است و در آزمایشاتی این چنین کاملا می‌تواند قابل صرفنظر-

1. Northern Hemisphere 2. Southern Hemisphere

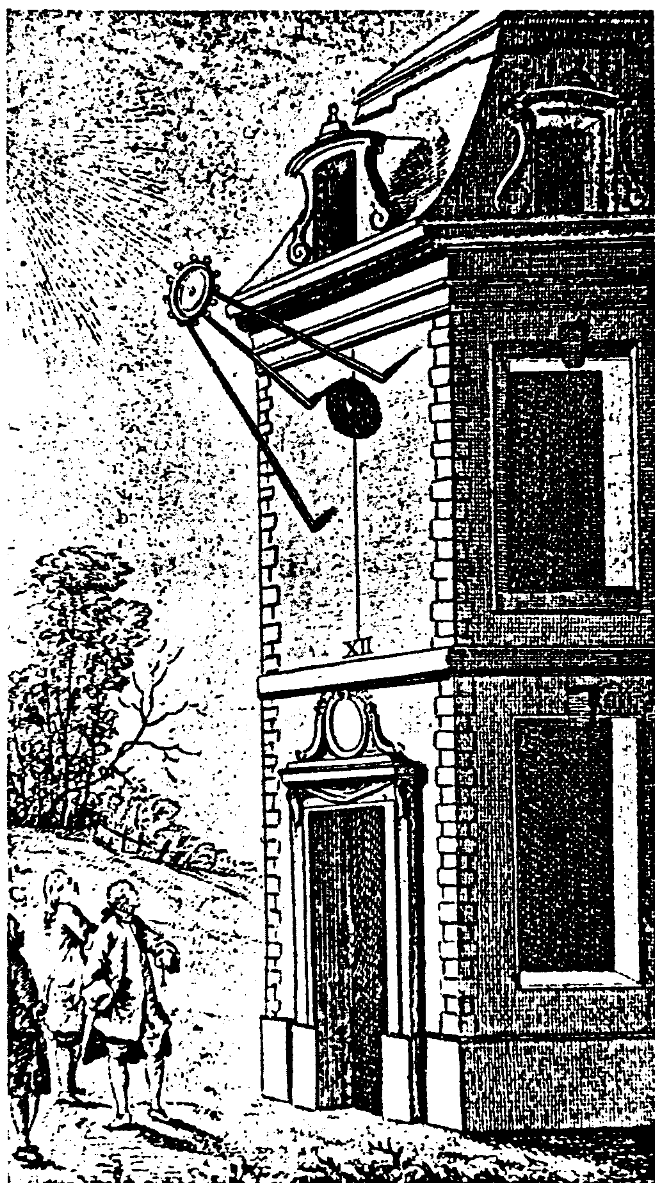
کردن باشد. البته اگر این آزمایش در اوایل زمستان و یا تابستان صورت گیرد، بعلت کم‌بودن تغییرات میل خورشید در این ایام، اثر این خطا نیز حذف می‌گردد.

علاوه‌بر مسلمین، توجه به‌لحظهٔ ظهر خورشیدی نزد سایر اقوام، با نام علامت ظهر[1] نیز مرسوم بوده است. علامت ظهر از نظر تعطیل کار در وسط روز و وقت ناهار اهمیت داشته است. مهاجرین اولیه در آمریکا، قبل از معمول شدن ساعتهای مکانیکی دقیق، اغلب در جلو خانهٔ خود، در یک مکان آفتابگیر، علامت ظهر را نصب می‌کردند. این بدانجهت بود که کدبانو بموقع مردان را برای صرف ناهار به‌منزل فرا خواند. هنوز هم علامت ظهر در خانه‌های قدیمی بچشم می‌خورد که گاهی هم ساکنین فعلی آنها از کاربرد آن اطلاعی ندارند. در شکل (۴-۲) علامت ظهر بر سر در یک ساختمان در اروپا، مربوط به‌دوران قرون وسطی[2] (تقریباً سال های ۵۰۰ تا ۱۴۰۰) نشان داده شده است. در این شکل عدد ۱۲ که با اعداد رومی[3] ( XII ) نوشته شده نمایانگر ظهر خورشیدی است و در این علامت، بجای استفاده از سایه، از یک شعاع باریک نور خورشید استفاده شده است. وقتی که این شعاع، بر خط قائم موجود در صفحه امی‌افتاده، لحظهٔ ظهر خورشیدی بوده است. درشکل (۵-۲) نیز علامت ظهر بر دیوار یک قلعه درفرانسه نمایانده شده است.

علامت ظهر، درشکل سادهٔ آن، از یک خط مستقیم بر سطحی صاف تشکیل یافته است. در لحظه‌ای که خورشید بر روی نصف‌النهار محل قرار می‌گیرد، سایهٔ یک شی قائم بر آن منطبق می‌گردد. این خط مستقیم معمولا بر کف اطاقهای آفتابگیر و یا کف درگاه پنجره[4]، رسم می‌شد که سایهٔ لبهٔ قائم چهارچوب پنجره، در لحظهٔ ظهر خورشیدی بر روی آن می‌افتاد. گاهی نیز از سایهٔ یک ستون قائم در بالکن ساختمان استفاده می‌شد. همچنین خط مستقیم علامت ظهر، گاهی در محوطهٔ ساختمان، در یک محل آفتابگیر بر زمین مسطح رسم می‌شد، بطوریکه سایهٔ یک میلهٔ قائم، مثلا میلهٔ یک پرچم، در لحظهٔ ظهر خورشیدی، بر روی آن منطبق گردد.

با این تفصیل، خط علامت ظهر، همان خط نصف‌النهار و یا امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است که سایهٔ یک شی قائم، در لحظه ظهر خورشیدی، کاملا بر روی آن قرارمی‌گیرد. امروز هم هرکس می‌تواند درمحوطهٔ خانهٔ خود، دراطاق و یا بالکن آن اقدام به‌رسم علامت ظهر کند. کافی است که لحظهٔ ظهر خورشیدی را مطابق آنچه

1. The Noon Mark
2. Medieval (Middle or Dark Ages)
3. Roman Numeral
4. Window Sill




**شکل (۴-۲) — علامت ظهر بر سردر یک ساختمان در اروپا مربوط به‌قرون وسطی.**

که در مثال (۱-۲) آمد، برای روز معین محاسبه کند و در آن ساعت، در کنار سایهٔ لبهٔ




**شکل (۵-۲) — علامت ظهر بر دیوار یک قلعه در کشور فرانسه.**

قائم چهارچوب در و یا پنجره و یا ستون و دیوار، خطی مستقیم بر روی کف، رسم سازد؛ در نتیجه، در تمام روزهای دیگر سال، وقتی که کنارِ سایهٔ شی قائم مزبور، بر روی خط

رسم شده می‌افتد، لحظهٔ ظهر خورشیدی و یا شرعی است. خود امتداد خط مستقیم نیز در جهت‌یابی قبله، مورد استفاده خواهد داشت. ممکن است در مواردی نیز خط علامت ظهر را بر روی کفپوش اطاق و یا بالکن، توسط مصالح ساختمانی و بصورت نواری باریک ساخت. مثلا امتداد خط مربوط را می‌توان با سنگفرشی با رنگ روشنتر ساخت و یا در کفپوش مربوط، کنده کاری کرد که امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، برای همیشه باقی بماند.

حتی اگر چنین علامتی دقیقاً مشخص شده باشد، می‌توان بوسیلهٔ آن، ساعت خود را نیز کنترل کرد. زیرا چنانکه گفتیم با استفاده از فرمولهای مربوط می‌توان لحظهٔ ظهر خورشیدی را در هر روز حساب کرد و لذا در موقع افتادن سایه بر روی خط علامت ظهر، ساعت، می‌بایست تقریباً زمان محاسبه شده را نشان دهد. البته برای این کار، لازم است که طول جغرافیایی محلِ استقرار علامت ظهر را بدست آورده باشیم.

بجای سایهٔ یک شی قائم، ممکن است از اشعهٔ باریک نور خورشید استفاده کرد. مثلا اگر یک قطعه مقوا و یا یک صفحهٔ کاغذ سیاه را به‌شیشهٔ پنجرهٔ یک اطاق آفتابگیر بچسبانیم و سپس در قطعهٔ مقوا یا صفحهٔ کاغذ سوراخ کوچکی ایجاد کنیم، نور خورشید بهنگام عبور از این سوراخ، یک لکهٔ نورانی کوچک بر روی کف اطاق خواهد انداخت. حال اگر زمان ظهر خورشیدی را برای یک روز زمستانی محاسبه کنیم و در این لحظه، جای لکهٔ نور خورشید را بر روی کف اطاق، علامت بگذاریم و در نوبت دیگر در یک روز تابستانی عمل را تکرار و دو نقطهٔ علامت‌گذاری شده را به همدیگر وصل کنیم، خط مستقیم حاصل، علامت ظهر است و در تمام روزهای سال، لکهٔ نورانی، به‌هنگام ظهر شرعی بر روی آن خواهد افتاد. لکهٔ نورانی، بهتر از سایه، قابل تشخیص است و بدینجهت است که این روش برتری دارد. و دیدیم که در علامتهای ظهر بکار رفته در بناهای قدیمی — موضوع شکلهای (۴-۲) و (۵-۲) — از این روش استفاده شده است.

## ۴. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از قطب نما

قطب‌نما[1]، چنانکه از اسمش پیداست، جهت قطبها را معلوم می‌کند. و آن عبارت از محفظهٔ مدرّجی است که در داخلش یک عقربهٔ مغناطیسی بر روی یک پایهٔ

1. Compass

نوک تیز، به‌صورتی نصب شده است که می‌تواند بر روی آن، بحالت افقی، آزادانه دوران کند. دو سر این عقربه در حالت سکون، جهت قطب شمال و جنوب مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد.

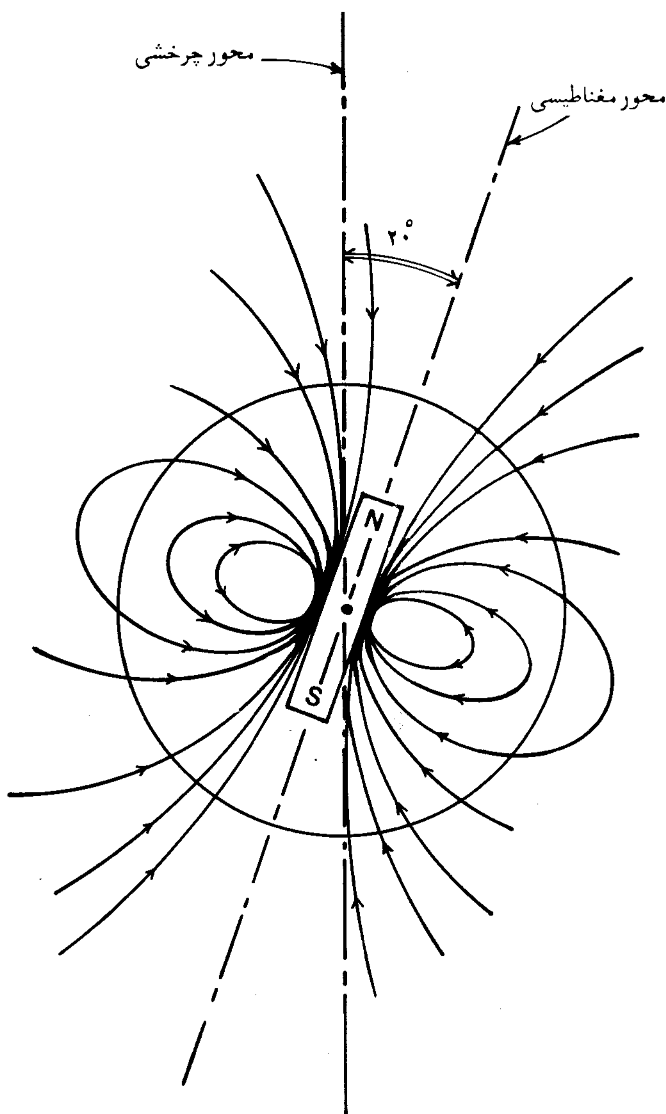
زمین دارای یک میدان مغناطیسی[1] است که شبیه میدان مغناطیسی حاصل از یک میلهٔ عظیم مغناطیسی است که محور آن از مرکز زمین گذر کرده و با محور چرخشی زمین تقریباً زاویه‌ای برابر ۲۰ درجه می‌سازد. این میلهٔ مغناطیسی فرضی، کرهٔ زمین را در دو نقطه، به‌نام قطبهای مغناطیسی[2]، قطع می‌کند. از این دو نقطه، آنکه نزدیک به‌قطب شمال جغرافیایی است، به‌نام قطب شمال مغناطیسی[3]، و دیگری که نزدیک قطب جنوب جغرافیایی است، به‌نام قطب جنوب مغناطیسی[4] موسوم است. بنابراین کلمات شمال و جنوب در اینمورد فقط دلالت بر وضعیت قطبهای مغناطیسی داشته و ارتباطی به‌قطبیت[5] (پولاریته) ندارند. چنانکه می‌دانیم دو سر یک میلهٔ آهن‌ربا[6] نیز به‌نام قطبهای شمال و جنوب آن موسوم بوده و قطبهای همنام همدیگر را جذب و غیرهمنام یکدیگر را دفع می‌کنند.

در شکل (۶-۲)، میلهٔ فرضی مغناطیس مذکور در بالا، تصویر شده و خطوط خطچین، خطوط نیروی مغناطیس[7] است که نمایانگر امتداد عقربهٔ مغناطیسی نصب شده در جاهای مختلف، می‌باشد. در حقیقت محل قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی، بر روی کرهٔ زمین، دقیقاً روبروی هم نیستند.

منشاء میدان مغناطیسی[8] زمین، شناخته شده نیست ولی ممکن است با چرخش زمین و احتمالا با جریانهای الکتریکی در داخل هستهٔ آن، ارتباط داشته باشد. طبیعت مغناطیسی زمین، انسان را برای قرنها به‌اعجاب واداشته بود. اشخاصی که سفر می‌کردند، دریافته بودند که قطعات مغناطیس طبیعی[9] و یا قطعات آهنی که با مغناطیس طبیعی مالش داده شده باشند، در صورتی که آزادانه بتوانند بچرخند، در جهت امتداد شمال و جنوب قرار می‌گیرند.

کریستف کلمب[10] با کمک یک قطبنمای ابتدایی که از یک عقربه مغناطیسی شناور بر روی آب تشکیل شده بود، سفر دریایی خود را آغاز کرد. عقربهٔ هر قطبنمایی،

1. Magnetic Field 2. Magnetic Poles 3. North Magnetic Pole
4. South Magnetic Pole 5. Polarity 6. Bar Magnet
7. Magnetic Lines of Force 8. Magnetic Field 9. Lodestone
10. Christopher Clumbus

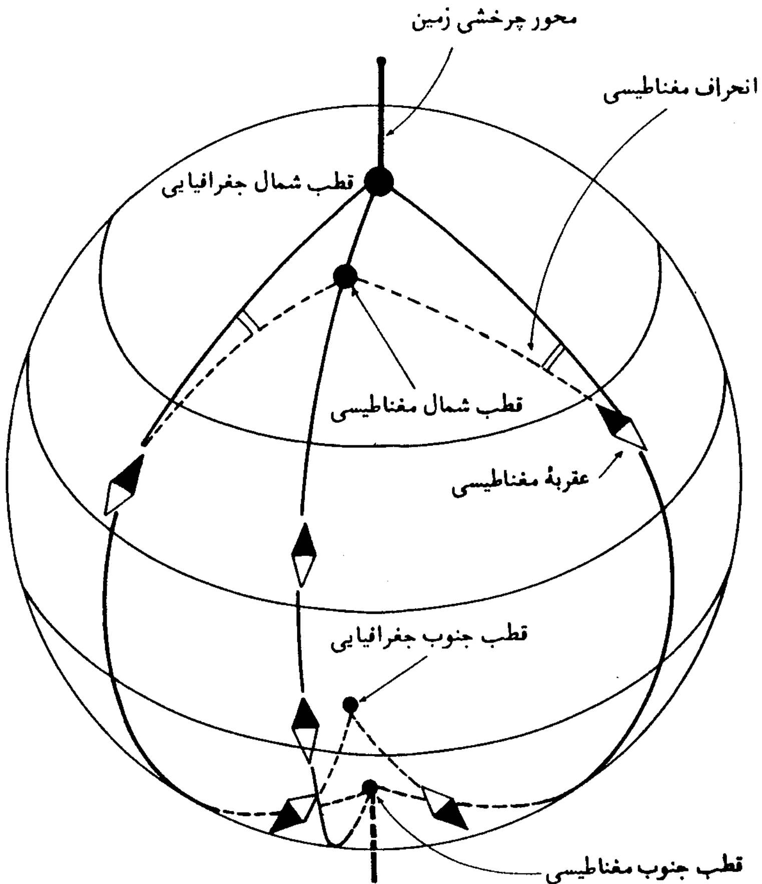



**شکل (۶-۲) — میدان مغناطیسی زمین. این میدان همانند یک میلهٔ مغناطیسی فرضی نشان داده شده که محور آن با محور چرخشی زمین تقریباً زاویهٔ ۲۰ درجه می‌سازد.**

در امتداد خطوط نامریی نیروی مغناطیسی که زمین را احاطه کرده‌اند، قرار می‌گیرد. در

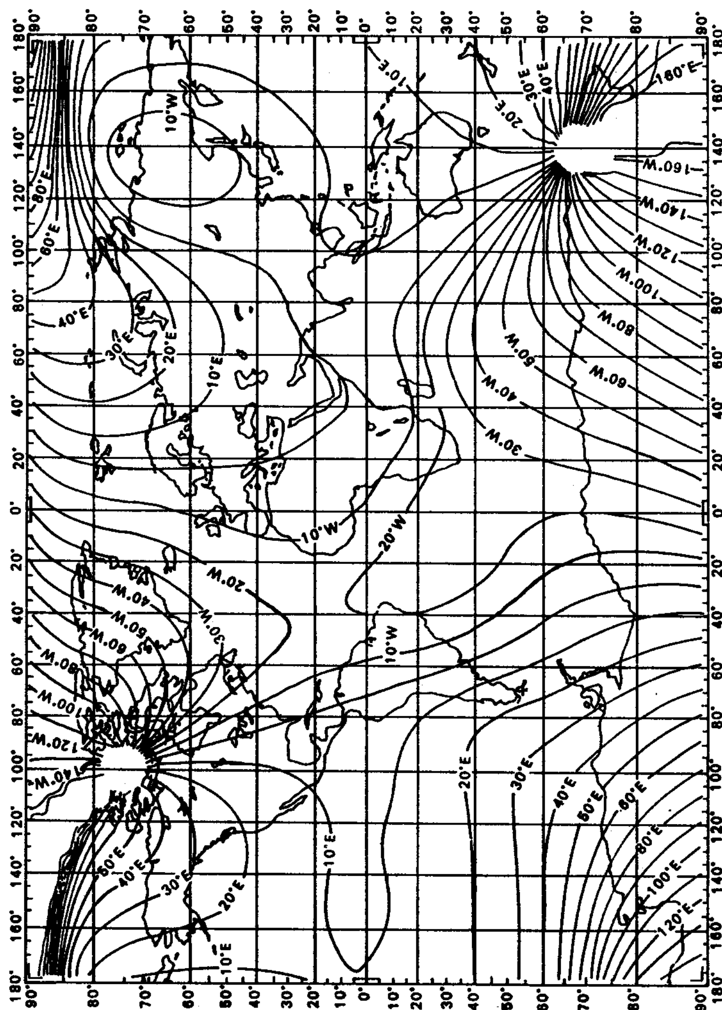
آزمایشگاه، تکه های ریز آهن در امتداد خطوط معینی در اطراف یک میلهٔ مغناطیسی قرار می‌گیرند که معرف خطوط نیرو هستند.

همچنانکه از شکل (۶-۲) پیداست، قطبهای مغناطیسی و قطبهای جغرافیایی بر هم، منطبق نیستند. در نتیجه، مطابق آنچه که در شکل (۷-۲) نشان داده شده،




شکل (۷-۲) — انحراف مغناطیسی.

عقربهٔ مغناطیسی، دقیقاً بطرف قطب شمال جغرافیایی قرار نمی‌گیرد. امّا بعلت نزدیک- بودن نسبی قطب شمال مغناطیسی به‌قطب شمال جغرافیایی، استفاده از قطبنما در




**شکل (۸ـ۲) — نقشهٔ مغناطیسی جهان در ۱۹۶۵.**

جهت‌یابی، ممکن شده است. زاویهٔ بین جهت قطب شمال مغناطیسی، که توسط قطبنما نشان داده می‌شود، و جهت قطب شمال واقعی، به‌نام زاویهٔ میل مغناطیسی[1] و یا انحراف مغناطیسی نامیده می‌شود.

این زاویه، در هر نقطه‌ای بر روی زمین مشخص شده است و لذا با توجه به اندازهٔ آن، می‌توان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را با استفادهٔ از قطب‌نما، مشخص کرد.

1. Magnetic Declination

عقربهٔ مغناطیسی، در پاره‌ای نقاط بطرف مشرق قطب شمال جغرافیایی و در دیگر نقاط بطرف مغرب آن متمایل می‌گردد. به‌عبارت دیگر، انحراف مغناطیسی در بعضی جاها، شرقی و در بعضی دیگر غربی است. در بعضی مکانها هم مقدار انحراف صفر و در نتیجه دو جهت، بر هم منطبق‌اند.

در بعضی کشورها، نقشه‌های هم میل مغناطیسی[1] در دسترس است که از روی آنها می‌توان اندازهٔ انحراف مغناطیسی را برای هر مکانی بدست آورد. در شکل (۸-۲) نقشهٔ مغناطیس جهان[2] داده شده که مربوط به‌سال ۱۹۶۵ است. با توجه به‌این شکل مختصات قطبهای مغناطیس به‌شرح زیر است.

| طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | |
|---|---|---|
| غربی °۱۰۰ | شمالی °۷۵/۵ | قطب شمال مغناطیسی |
| شرقی °۱۴۰ | جنوبی °۶۶/۵ | قطب جنوب مغناطیسی |

قطبهای مغناطیسی در یک‌جا ثابت نیستند، بلکه جای آنها تغییر می‌کند. به‌همین سبب میل مغناطیسی، سالیانه به‌مقدار کمی تغییر می‌کند. بنابراین در بیشتر مکانها، عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما دقیقاً همان جهت ده سال پیش را نشان نمی‌دهد.

انحراف مغناطیسی با ابزاری[3] به‌نام انحراف‌سنج مغناطیسی[4] اندازه‌گیری می‌شود که در آزمایشگاههای مغناطیسی[5] و در بررسی میدانهای مغناطیسی بکار می‌رود. جالب است بدانیم که از بررسیهای انجام شده، بر روی سنگواره‌های (فسیلهای) مغناطیسی، نتیجهٔ شگفت‌آوری بدست آمده بدینمعنی که محل قطبهای مغناطیسی، نه تنها ثابت نبوده بلکه درطول تاریخ حیات زمین، چندین بار جای آنها با هم عوض شده است.

شدت میدان مغناطیسی[6]، با واحدی به‌نام گاوس[7] بیان می‌شود. قانون بنیادی نیرو در مغناطیس (قانون کولمب[8] یا کولن) شبیه قانون نیوتن در جاذبه است: نیروی دافعه‌ای بین دو قطب مشابه وجود دارد که متناسب با شدت قطبها بوده و با مربع فاصلهٔ آنها نسبت معکوس دارد. دو قطب واحد و همنام — هردو شمال و یا هردو جنوب — در فاصلهٔ یک سانتیمتری، یکدیگر را با نیرویی برابر یک دین[9] دفع می‌کنند.

قطبهای با اندازهٔ واحد و غیر همنام در فاصلهٔ یک سانتیمتری، یکدیگر را با نیرویی برابر یک دین جذب می‌کنند. شدت میدان یک مغناطیس، در یک نقطهٔ معین،

1. Isogonic Maps 2. World Magnetic Chart 3. Instrument
4. Declinometer 5. Magnetic Observatories 6. Magnetic Field Strenght
7. Gauss 8. Coulomb's Law 9. Dyne

برابر نیرویی است که بر قطبِ با اندازهٔ واحد، در آن نقطه اعمال می‌شود. شدت میدان مغناطیسی زمین در محل قطب مغناطیسی برابر با ۰/۶۳ گاوس است. به‌عبارت دیگر، به‌یک قطب واحد، در قطب شمال مغناطیسی نیرویی برابر ۰/۶۳ دین وارد می‌شود.

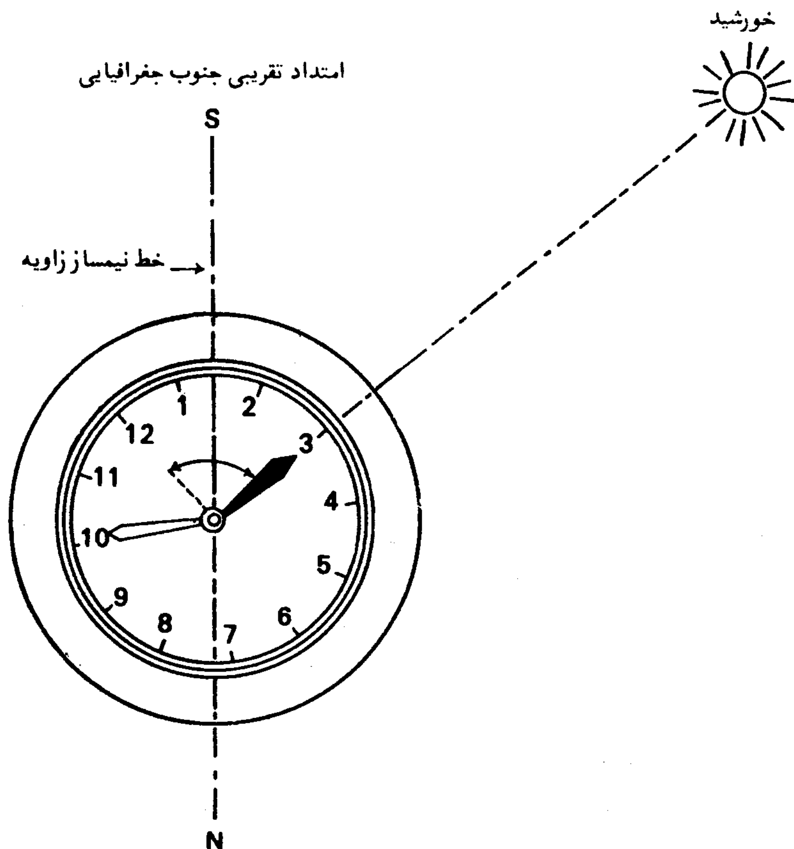
در استوا، شدت میدان مغناطیسی برابر ۰/۳۱ گاوس است. بنابراین زمین، دارای میدان مغناطیسی نسبتاً ضعیفی است. در نتیجه، وقتی که در جهت‌یابی، از قطب‌نما استفاده می‌شود، باید از عدم تأثیر میدانهای موضعی مطمئن بود. میدان مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال نیروی برق، ماشینهای الکتریکی، وسایل و ساختمانهای فولادی مجاور و ذخایر معدنی در منطقه، می‌تواند عقربهٔ قطب‌نما را بمقدار زیادی منحرف سازد.

بنابراین برای استفاده از قطب‌نما در جهت‌یابی، می‌بایست ازاندازهٔ انحراف مغناطیسی در منطقه، خبر داشت و امتداد نشان داده شده توسط آن را تصحیح کرد. همچنین جهت‌یابی را به‌دور از میدانهای موضعی به‌انجام رساند. البته این امر در صورت وجود معادن زیرزمینی شناخته نشده، قدری مشکل است و می‌بایست با مطالعهٔ قبلی ازوجود و مقدار تأثیر آنها، آگاه شد.

در ایران هم درمورد میزان انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف، مطالعاتی توسط مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران صورت گرفته است که دسترسی به‌آنها از طریق مؤسسهٔ مربوط، امکان دارد. میزان انحراف مغناطیسی در تهران، در محلّی با طول جغرافیایی ۵۱° و ۹/ ۲۲′ و عرض جغرافیایی ۳۵° و ۲/ ۴۴′، برابر ۳° و ۹/ ۴۶′ بطرف مشرق و یا تقریباً درحدود ۴° شرقی بوده است. البته چنانکه قبلا هم اشاره شد، میزان انحراف مغناطیسی، سالیانه بمقدار کمی تغییر می‌کند.

## ۵. جهت‌یابی تقریبی ازطریق استفاده ازساعت

این روش، معمولا توسط پیشاهنگان، مورد استفاده قرار می‌گیرد، بدین ترتیب که ساعت مچی برکف دست و یا بر روی یک سطح، طوری به‌حالت افقی قرار داده می‌شود که صفحهٔ ساعت بطرف بالا و عقربهٔ ساعت شمار به‌طرف خورشید قرار گیرد. قرارگرفتن عقربهٔ ساعت شمار بطرف خورشید بصورتی است که سایهٔ عقربه کاملا در زیر آن بیفتد. سپس مطابق آنچه که درشکل (۹ـ۲) نشان داده شده، جهت تقریبی جنوب



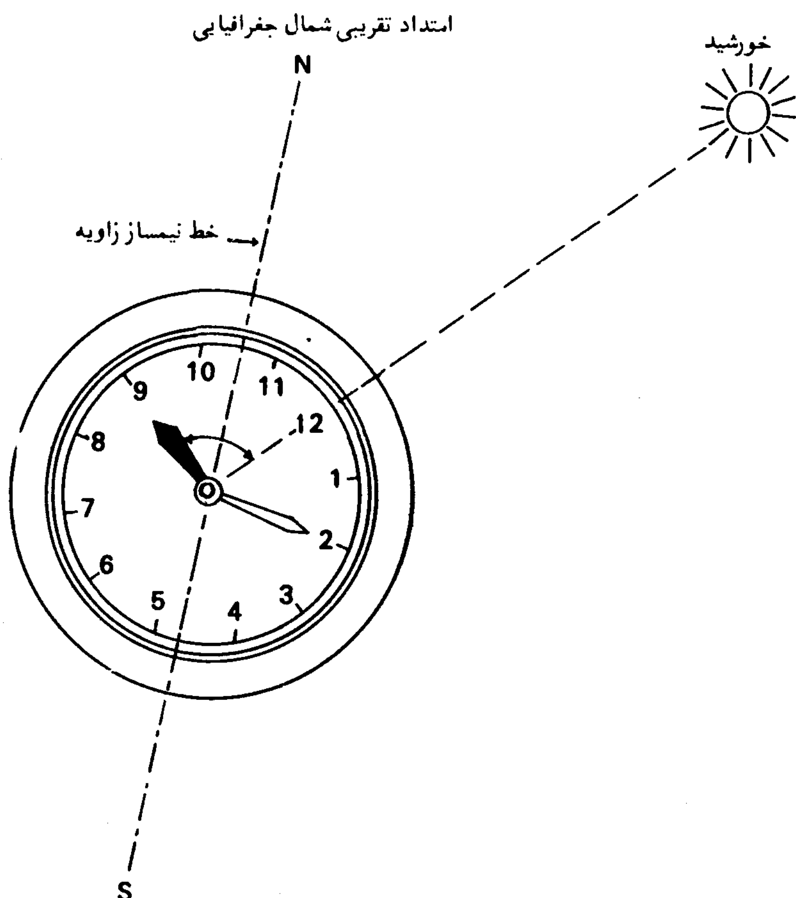

شکل (۹-۲)— تعیین امتداد تقریبی جنوب جغرافیایی با استفاده از ساعت، در نیمکرهٔ شمالی.

جغرافیایی، در امتداد نیمساز زاویهٔ عقربهٔ ساعت شمار با خط ساعت ۱۲ خواهد بود. البته این صورت فقط برای نیم کرهٔ شمالی زمین است.

درمورد نیمکرهٔ جنوبی، مطابق شکل (۱۰-۲)، خط ساعت ۱۲ بطرف خورشید قرار داده می‌شود و نیمساز زاویهٔ عقربهٔ ساعت‌شمار و خط ساعت ۱۲، امتداد تقریبی شمال جغرافیایی خواهد بود.

با توجه به‌چگونگی حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید[1] بر پهنهٔ آسمان، که در

1. Daily Apparent Movement of the Sun




شکل (۱۰-۲) — تعیین امتداد تقریبی شمال جغرافیایی با استفاده از ساعت، در نیمکرهٔ جنوبی.

مطلب بعدی بیان شده، کاربرد این روش فقط در مناطق بین ۲۳/۵ و ۶۶/۵ درجهٔ عرض شمالی در نیمکرهٔ شمالی، و مناطق بین ۲۳/۵ و ۶۶/۵ درجهٔ عرض جنوبی در نیمکرهٔ جنوبی، یعنی در مناطق معتدله، ممکن است.

## ۶. جهت‌یابی تقریبی با تعیین طرف آفتاب‌زدهٔ تنهٔ درختان (روش دهقانان)

گردش روزانهٔ خورشید و تابش آن، همیشه مورد توجه دهقانان بوده است.

با توجه به‌این حرکت، میزان تابش خورشید بر تنهٔ درختان، در تمام سطح آنها، یکسان نیست. لذا در منطقهٔ ما ــ در نیمکرهٔ شمالی ــ پوست درختان، بویژه درخت بید و چنار، در طرف جنوب آنها، آفتاب‌زدگی بیشتری دارند و در طرف شمال سبزترند و کمتر حالت آفتاب‌زدگی دارند. در نتیجه، دهقانان با توجه به همین مطلب ساده، جهات خود را، البته بصورت تقریبی تعیین می کنند.

در اینجا، بیان چگونگی گردش ظاهری روزانهٔ خورشید بصورتی که در مناطق مختلف کرهٔ زمین مشاهده می‌شود، لازم بنظر می‌رسد. در منطقهٔ معتدلهٔ شمالی[1]، خورشید همیشه در وسط روز در طرف جنوب ناظر، و در منطقهٔ معتدلهٔ جنوبی[2]، در طرف شمال او قرار می‌گیرد. در منطقهٔ حاره[3] خورشید وسط روز، گاهی در طرف شمال و گاهی در سمت جنوب و بعضی اوقات هم بر بالای سر ناظر، بر حسب عرض جغرافیایی محل، قرار می‌گیرد. در مناطق منجمدهٔ شمالی[4] و جنوبی، خورشید گاهی در طول شبانه‌روز بر پهنهٔ آسمان قرار دارد و زمانی دیگر، برحسب فصل و عرض جغرافیایی محل، موقعیتی مانند مناطق معتدله، پیدا می کند و ایامی هم اصلا طلوع نمی کند و شب طولانی، بر منطقهٔ قطبی حکمفرماست.

چگونگی حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید، برای مناطق با عرض جغرافیایی مشخص و در فصول مختلف، در شکلهای (۱۱-۲ الی ۲۱-۲) برای نیمکرهٔ شمالی و جنوبی، مشخص شده است. در این شکلها، نقطه O محل ناظر و Z نمایانگر سمت‌الرأس اوست.

چگونگی حرکت ظاهری خورشید در قطب شمال و جنوب زمین، در فصل پنجم کتاب، در مطلب مربوط به‌تعیین جهت قبله در قطب شمال آمده است و لذا شکلهای مذکور شامل این مناطق نیستند.

با توجه به‌این شکلها، درمی‌یابیم که چرا طرف جنوبی ساقهٔ بلند درختان (البته در صورتی که در سایه قرار نداشته باشند) در منطقهٔ معتدلهٔ شمالی بیشتر آفتاب‌زده می‌باشد ولی در منطقهٔ معتدلهٔ جنوبی، طرف شمالی آنها دارای این خاصیت است.

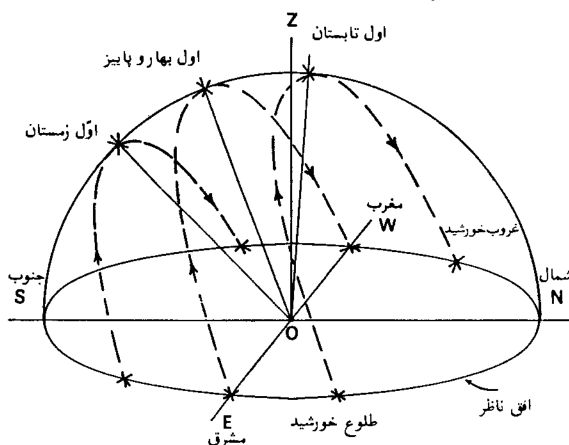
## ۷. جهت‌یابی از طریق یافتن ستارهٔ قطبی در نیمکرهٔ شمالی و صورت فلکی صلیب جنوبی[5] در نیمکرهٔ جنوبی

چنانکه در بخشهای دیگر خواهد آمد، تعیین امتداد دقیق شمال جغرافیایی از

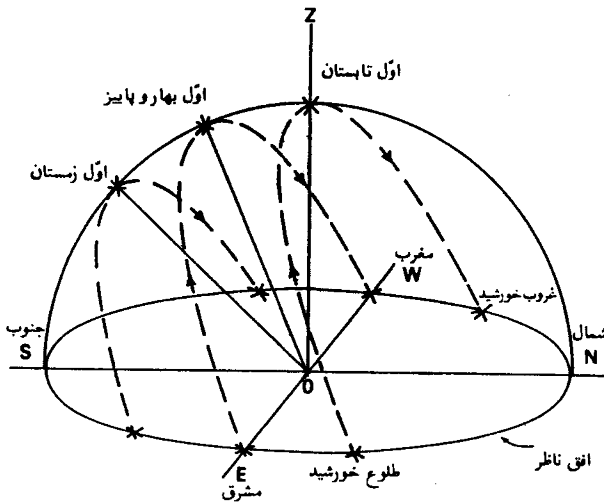
1. North Temperate Zone 2. South Temperate Zone 3. Torrid Zone
4. North Frigid Zone 5. Crux (The Southern Cross)

سمت‌الرأس
اول بهار و پائیز
Z
اوّل زمستان
اوّل تابستان
مغرب
W
غروب خورشید
جنوب
S
شمال
N
O
ناظر
E
مشرق
طلوع خورشید
افق ناظر

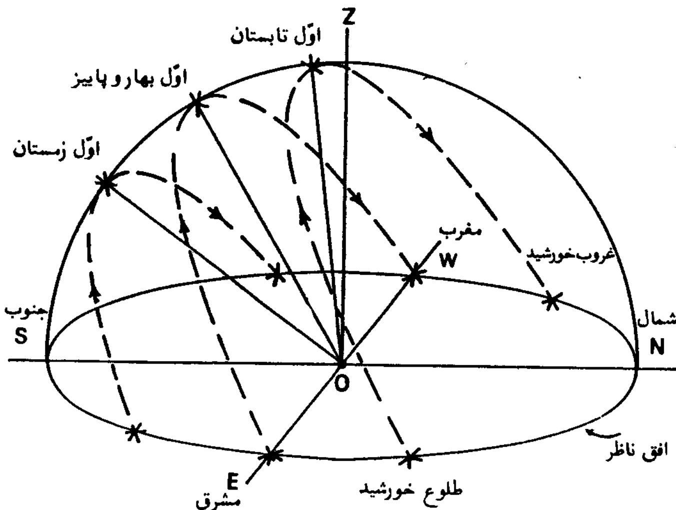
**شکل (۲-۱۱) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در آسمان در خط استوا ($\varphi = 0^\circ$).**
**در اوّل بهار و پاییز محل طلوع و غروب خورشید در مشرق و مغرب حقیقی و در وسط روز در سمت‌الرأس ناظر قرار می‌گیرد.**




**شکل (۲-۱۲) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در آسمان در عرض جغرافیایی ۲۰ درجهٔ شمالی.**

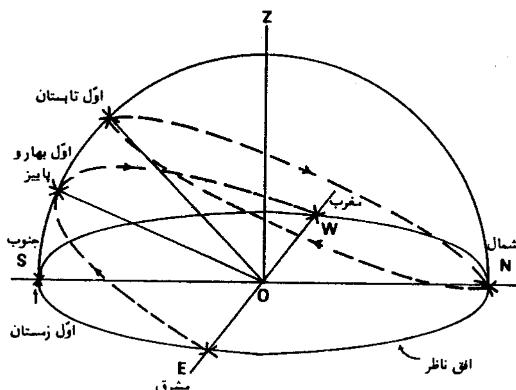



شکل (۲-۱۳)— مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید بر روی مدار رأس السرطان[1] ($\varphi = ۲۳^\circ/۴۵$ N)
در روز اوّل تابستان، خورشید گرچه در هنگام طلوع در طرف شمال نقطهٔ مشرق جغرافیایی قرار دارد، اما در وسط روز در سمت‌الرأس ناظر قرار می‌گیرد.




شکل (۲-۱۴)— مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در آسمان در عرض شمالی ۳۰ درجه.
در اوّل تابستان گرچه خورشید در طرف شمال مشرق جغرافیایی طلوع می کند، امّا بهنگام نیمروز در وسط آسمان بطرف جنوب سمت‌الرأس ناظر قرار می‌گیرد.

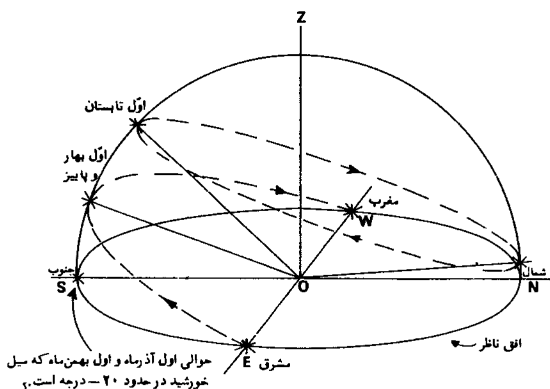
1. Tropic of Cancer




شکل (۲-۱۵)— مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در مدار شمالگان[1] (مدار قطبی شمال)، $\varphi = 66^\circ/55N$.

در اوّل تابستان خورشید در تمام طول شبانه‌روز بر پهنهٔ آسمان قرار دارد و در حقیقت، از نقطهٔ شمالی در افق ناظر بالا آمده و بعد از طی یک دایره در ۲۴ ساعت، دوباره به همان نقطه برمی‌گردد.

در اوّل زمستان خورشید در مدت کوتاهی در نقطهٔ جنوب در افق ناظر خواهد بود و درحقیقت طول شب درحدود ۲۴ ساعت است.



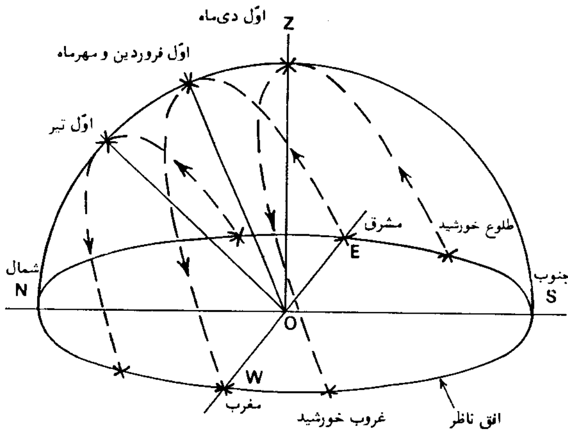

شکل (۲-۱۶)— مسیر حرکت ظاهری خورشید در عرض جغرافیایی ۷۰ درجهٔ شمالی.

در اوّل تابستان خورشید در شبانه‌روز همواره در آسمان است و درحقیقت از نقطهٔ شمالی ناظر، بالاتر از افق، قرار می‌گیرد و پس از طی یک دایره، دوباره به همان نقطه برمی‌گردد. تقریباً در حوالی اوّل آذرماه، خورشید به خط افق رسیده و شب طولانی قطبی در این مکان آغاز می‌شود که تقریباً درحدود دوماه بطول می‌انجامد و در اوایل بهمن‌ماه مجدداً در افق ناظر در نقطهٔ جنوبی پدیدارشده، شب طولانی قطبی بپایان می‌رسد.

1. Arctic Circle

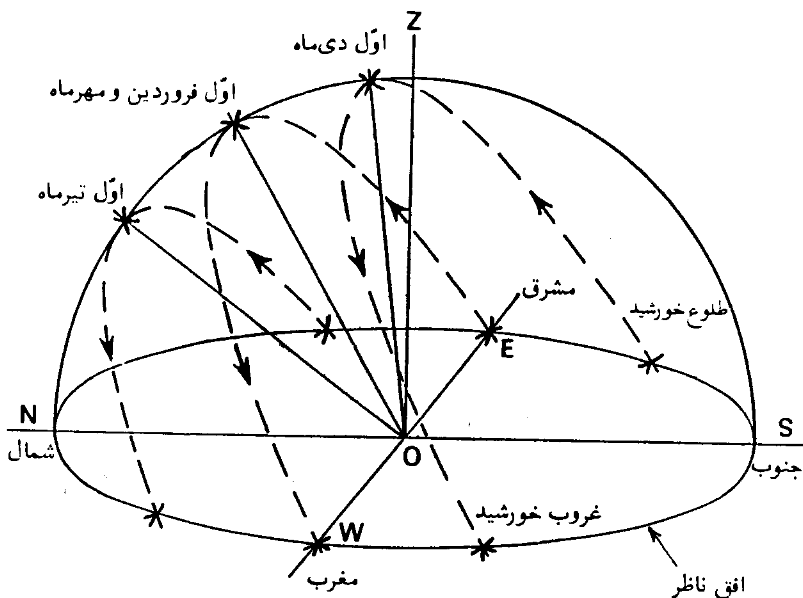
اوّل دی‌ماه
Z
اوّل فروردین و مهرماه
اوّل تیر
مشرق
طلوع خورشید
E
شمال
N
جنوب
S
O
W
مغرب
غروب خورشید
افق ناظر

**شکل (۲-۱۷) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در آسمان در عرض جنوبی ۲۰ درجه.**

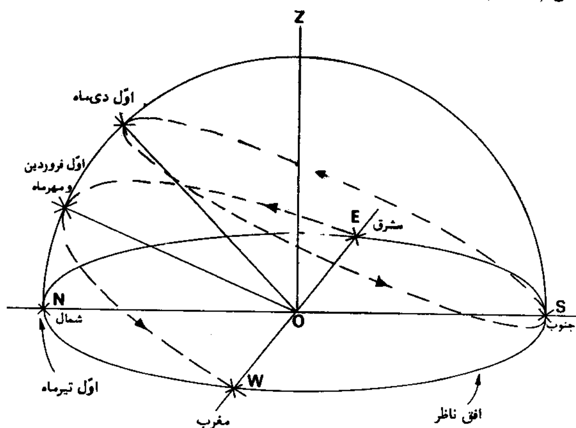



**شکل (۲-۱۸) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در مدار رأس‌الجدی[1] ($\varphi$ = ۲۳°/۴۵ S).**

1. Tropic of Capricorn



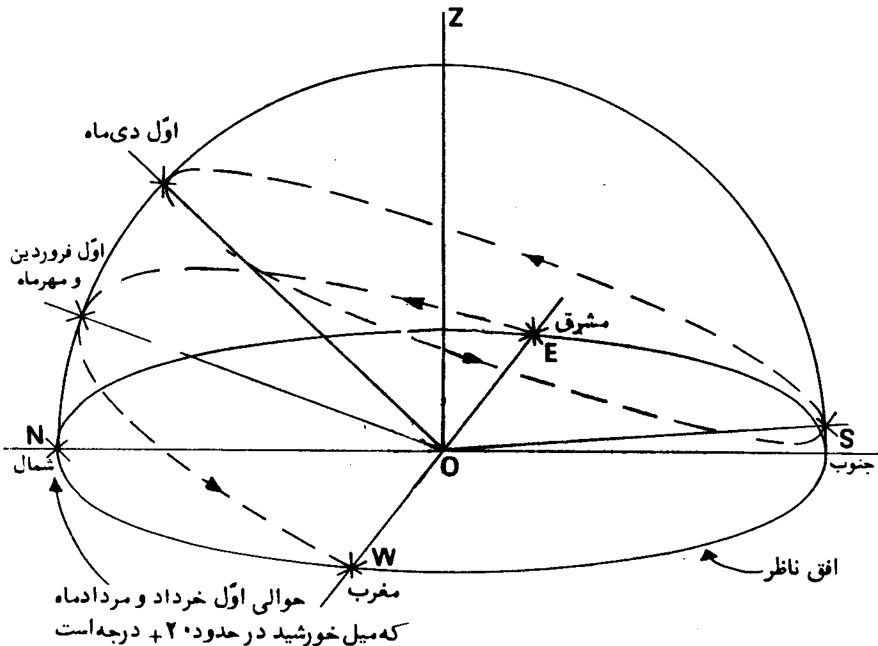

شکل (۲-۱۹) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در مدار ۳۰ درجه عرض جنوبی.




شکل (۲-۲۰) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در مدار جنوبگان[1] (مدار قطبی جنوب)، $\varphi = 66^\circ/55S$.

---

1. Antarctic Circle




**شکل (۲-۲۱)— مسیر حرکت ظاهری خورشید در عرض جغرافیایی ۷۰ درجهٔ جنوبی.**

راه رصد ستارهٔ قطبی، با استفاده از وسایل نجومی، ممکن است، امّا پیدا کردن ستارهٔ قطبی در آسمان، بدون استفاده از وسایل نجومی، خود می‌تواند راهنمای جهت شمال باشد. برای انجام این منظور می‌بایست با چند صورت فلکی[1] آشنا شویم. یکی از آنها صورت فلکی دُب اکبر[2] (خرس بزرگ) و یا آبگردان بزرگ[3] است. چنانکه از اسم آبگردان پیداست، ستاره‌های این صورت، بشکل آبگردان قرار گرفته‌اند. این صورت فلکی، بهنگام غروب، در بیشتر مکانهای نیمکرهٔ شمالی، بشرط صاف بودن هوا، قابل رؤیت است. هفت ستارهٔ پر نور، شکل آبگردان را پدید آورده‌اند. چهار ستاره که کاسهٔ[4] آبگردان را تشکیل می‌دهند، با اسامی دُبه[5]، مِراق[6]، فِخذ[7] و مِغرز[8] معروفند. این اسامی، عربی است و با توجه به‌اسامی انگلیسی آنها که در زیرنویس، ملاحظه می‌کنید، معلوم

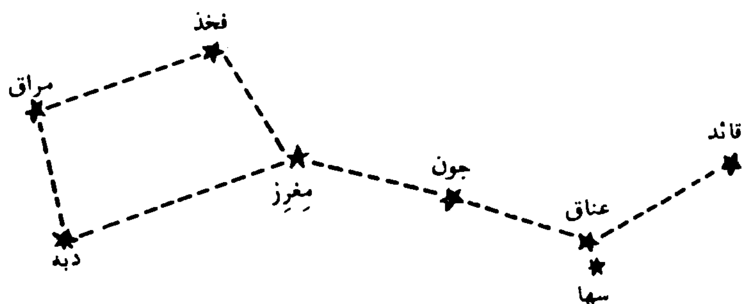
1. Constellation 2. Ursa Major (Great Bear) 3. Big Dipper
4. Bowl 5. Dubhe 6. Merak 7. Phecda 8. Megrez

می‌شود که اسامی انگلیسی نیز از عربی گرفته شده‌اند. دُبه به‌معنای خرس، مِراق به‌معنی گُرده، فخذ به‌معنای ران و بالاخره مِغرز به‌معنی بُن دُمِ خرس است.

ستارگانی که دستهٔ آبگردان را تشکیل داده‌اند به‌نامهای قائِد[1]، عِناق[2] وجَون[3] معروفند که باز هم اسامی عربی است. قائد به‌معنای جلودار، عِناق به‌معنی بزغاله و معنای دقیق جَون هنوز مورد اختلاف است، چه منشاء آن روشن نیست.

در نزدیکی عِناق ستارهٔ کوچک سُها[4] قرار دارد. اعراب این دو ستاره را اسب و سوار[5] می‌نامیدند و ازستارهٔ سُها برای آزمون دید خوب استفاده می‌کردند.

ستارگان صورت فلکی دب اکبر درشکل (۲۲-۲) نمایانده شده است.




شکل (۲۲-۲) — ستارگان صورت فلکی دُب اکبر.

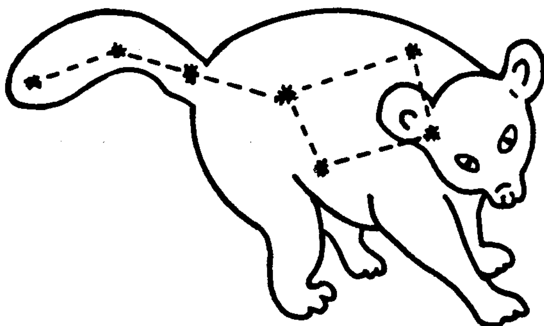
یکی از نخستین نامهایی که به‌این صورت فلکی، داده شده، خرس بزرگ است و اسامی عربی به‌معنای ران، گُرده و غیره، قسمتهای مختلف پیکر خرس را بیان می‌کنند که این تعبیر، درشکل (۲۳-۲) ارائه شده است.

دلیل این نام‌گذاری روشن نیست، چه، بزحمت می‌توان طرح بدن خرس و یا هر حیوان دیگری را براین صورت فلکی تصویر کرد.

بنابر افسانه‌ای کهن، خرس نشان‌دهندهٔ کالیستو[6]، دختر شاه‌آرکادیا[7] و معشوقهٔ ژوپیتر[8] است که ژوپیتر به‌منظور حفاظت از وی، او را به‌صورت خرس درآورده، بر آسمانها جای داد.

بنابر افسانه‌ای دیگر، خرس بزرگ، عمداً توسط روح بزرگ[9] برآسمان نهاده شد

1. Alkaid  2. Mizar  3. Alioth  4. Alcor
5. The Horse and the Rider  6. Callisto  7. Arcadia  8. Jupitor
9. Great Spirit



شکل (۲-۲۳) — تصویر خرس بزرگ بر صورت فلکی دُب اکبر.

تا به‌صورت تقویم برای خرسهای موجود در زمین باشد. در نیم‌سالی که خرس بزرگ دارای ارتفاع کمی است، همهٔ خرسها، به‌درون غارهای خود در زمین رفته و خود را گرم نگه‌می‌دارند. هنگامی که خرس بزرگ در آسمان اوج می‌گیرد، تابستان آغاز می‌شود و خرسها غارهایشان را ترک می‌کنند. درحقیقت خرس بزرگ دارای حرکت ظاهری سالانه‌ای است که در همین بخش مورد بحث قرار خواهد گرفت.

اسامی خرس بزرگ و آبگردان بزرگ هنوز مصطلح است. نام علمی این صورتِ فلکی، ترجمهٔ لاتینی خرس بزرگ[1] است.

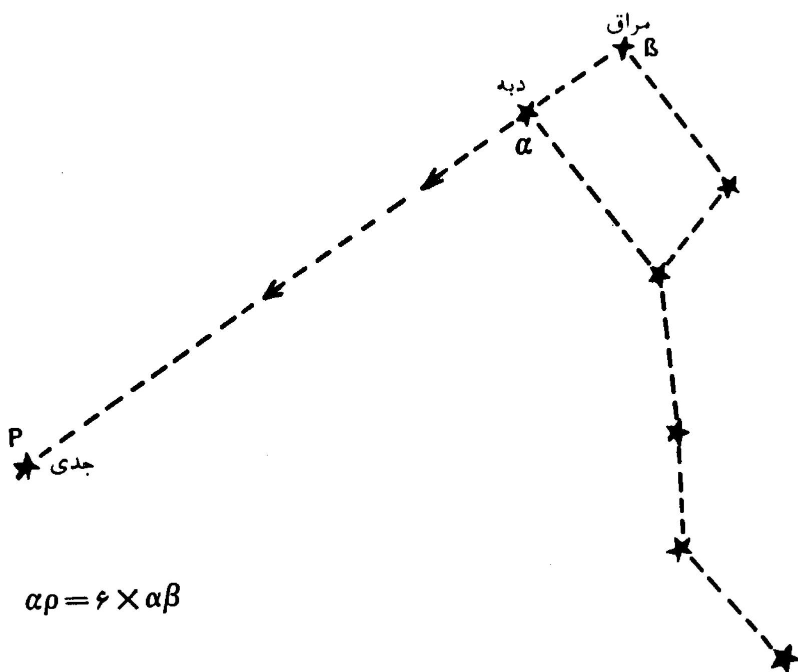
در انگلستان، این صورت فلکی[2] را گاوآهن و یا ارابه[3]، می‌گویند. ولی اگر بخواهیم دقیق باشیم، باید اصطلاح آبگردان بزرگ را به هفت ستارهٔ پرنور، و اصطلاح خرس بزرگ را به همهٔ ستاره‌های این صورت فلکی اطلاق کنیم. امّا اغلب، این دو اصطلاح بجای هم، بکارمی‌روند.

در ایران، این صورت فلکی را هفت برادران نیز می‌نامند و نام پارسی آن هفتو-رنگ است.

صورت فلکی دیگر، دُب اصغر[4] (خرس کوچک) و یا آبگردان کوچک[5] است. معروف‌ترین و پرنورترین ستارهٔ این صورت فلکی، ستارهٔ قطبی[5] و یا جُدَی، نام دارد. پیدا کردن این ستاره در آسمان ساده است.

1. Ursa Major 2. Plough 3. Wain (for Wagon)
4. Ursa Minor (Little Bear) 5. Little Dipper 6. Polaris (North Star)

نقطهٔ شروع دو ستارهٔ دُبه و مِراق در کاسهٔ آبگردان بزرگ می‌باشد که به نام قراولان[1] معروفند، امتداد خط واصل بین این دو ستاره از جُدَی می‌گذرد. فاصلهٔ زاویه‌ای[2] دُبه و مِراق نزدیک به ۵ درجه و فاصلهٔ زاویه‌ای دُبه و جُدی ۲۹ درجه است، که درنتیجه، فاصلهٔ زاویه‌ای دُبه و جُدی در حدود ۶ برابر فاصلهٔ قراولان است. لذا برای پیدا کردن ستارهٔ قطبی، که به نام ($\alpha$) ـ دب اصغر[3] نیز نامیده می‌شود، می‌بایست فاصلهٔ میان مِراق و دُبه را شش برابر از دُبه امتداد داد تا به‌ستارهٔ جُدَی رسید، شکل (۲۴-۲).



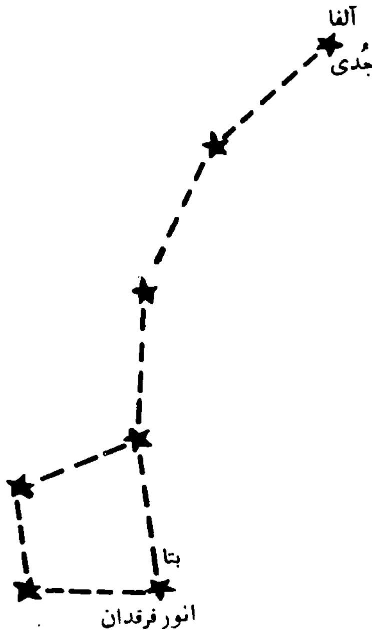

شکل (۲۴-۲) — پیدا کردن جُدَیٌ با استفاده از قراولان. فاصلهٔ مراق به‌دُبه را می‌بایست از دُبه به‌اندازهٔ ۶ برابر ادامه داد تا به‌جُدَی رسید.

فاصلهٔ قطبی[4] ستارهٔ قطبی، درحدود °۱ و ′۱۰ است و بنابراین در فاصلهٔ خیلی

1. The Pointers
2. Angular Distance
3. α (Alpha) – Ursae Minoris
4. Polar Distance

نزدیک امتداد محور چرخشی زمین یعنی قطب شمال سماوی، قرار دارد که بهمین علت، ستارهٔ قطبی[1] نام گرفته است.

بعد از جُدَی پرنورترین ستارهٔ صورت فلکی، خرس کوچک، اَنوَرِ فرقدان[2] است که به‌نام بتا (β) - دب اصغر[3] نیز نامیده می‌شود. نام انگلیسی این ستاره که در زیرنویس آمده، از لغت عربی کوکب به‌معنای ستاره، گرفته شده است. ستاره‌های این صورت فلکی در شکل (۲-۲۵) نشان داده شده‌اند.

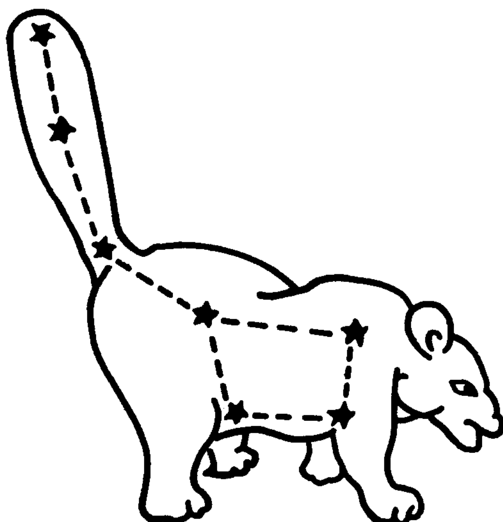



شکل (۲-۲۵) — ستارگان صورت فلکی دُب اصغر.

مانند صورت فلکی خرس بزرگ، اطلاق نام خرس کوچک به‌این صورت فلکی نیز نامناسب است، شکل (۲-۲۶). دو ستاره‌ای که بر سینهٔ خرس کوچک قرار دارند به‌نام فرقدان یا فرقدین موسوم اند و انور فرقدان یعنی آنکه پرنورتر است.

دب اصغر، به‌نامهای بَناتُ‌النَّعش صُغری یا هفتورنگ کهین نیز مشهور است.

1. North Star 2. Kochab 3. ß (Beta) Ursae Minoris



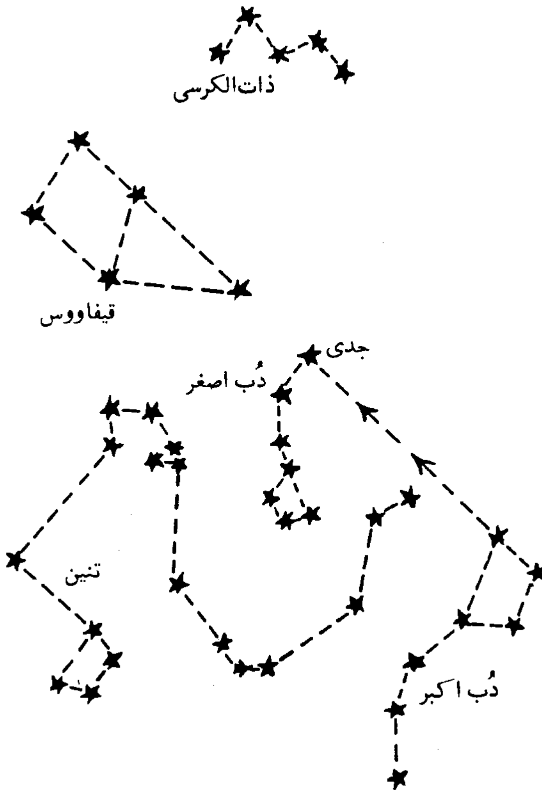
**شکل (۲-۲۶)— تصویر خرس بر صورت فلکی دُب اصغر. دو ستارهٔ قرارگرفته بر سینهٔ خرس، به‌نام فرقدان یا فرقدین موسوم‌اند.**

بنابر افسانهٔ جالبی از بومیان سرخپوست آمریکا، گروهی شکارچی بومی، راه خود را در جنگل گم کرده بودند که درنتیجهٔ اجابت دعاهایشان، دخترکوچکی پدیدار شد که آنها را به‌سلامت به‌خانه‌هایشان راهنمایی کرد. دخترک ثابت کرد که او، روح ستارهٔ جُدَی است، لذا شکارچیان پس از مرگ در آسمان جای گرفتند که برای همیشه نزدیک او باشند.

علاوه بر صور فلکی دُب اکبر و دُب اصغر، سه صورت فلکی مشهور دیگر، همیشه در آسمان، مکانهای با عرض جغرافیایی بیشتر از ۴۰ درجهٔ شمالی، قابل رؤیتند: این صور، عبارتند از ذات‌الکرسی[1]، تِنیّن (اژدها)[2] و قیفاووس[3] که در شکل (۲-۲۷) نشان داده شده‌اند.

قبلا چگونگی استفاده از قراولان را برای یافتن جُدَی بیان کردیم. حال که با صورت فلکی ذات‌الکرسی نیز آشنا شده‌ایم، بد نیست که وضعین این صورت فلکی را، که به‌شکل حرف M و یا W است، نسبت به‌ستارهٔ قطبی بدانیم. مطابق آنچه که در

1. Cassiopeia 2. Dragon (Draco) 3. Cepheus

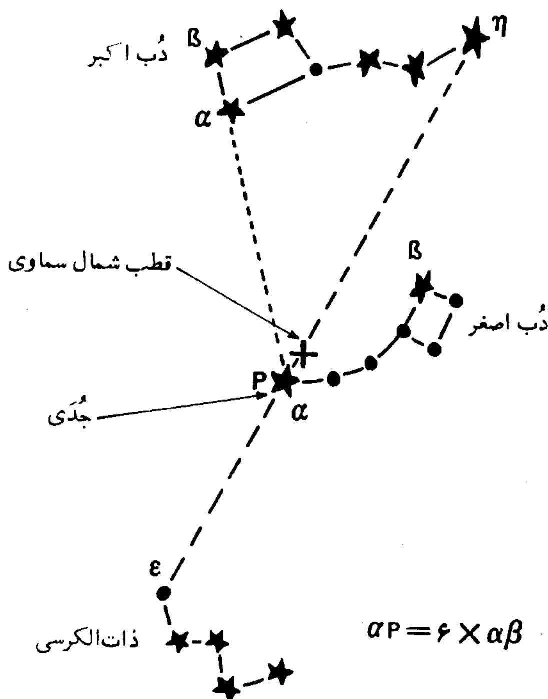



**شکل (۲-۲۷)— صور فلکی دور قطبی شمالی که در آسمان مکانهای با عرض جغرافیایی بیشتر از ۴۰ درجهٔ شمالی، قابل رؤیت‌اند.**

شکل (۲-۲۸) نشان داده شده، زمانی که ستارهٔ قطبی بر روی نصف‌النهار یک محل قرار می‌گیرد، ستاره‌های $\eta$ (اتا) در صورت فلکی دب اکبر و $\varepsilon$ (اپسیلن) در صورت فلکی ذات‌الکرسی نیز بر روی نصف‌النهار محل قرار خواهند گرفت.

تا بحال دیدیم که برای یافتن ستارهٔ قطبی، می‌بایست ابتدا صورت فلکی دب‌اکبر را پیدا کنیم. این صورت فلکی مانند هرصورت فلکی و یا ستارهٔ دیگر، دارای حرکت ظاهری روزانه[1] و سالیانه[2] است و بنابراین در آسمان یک محل، همیشه در مکان ثابتی قرار نمی‌گیرد. لذا برای پیدا کردنش، قبلا باید با حرکات آن نیز آشنا بود:

1. Apparent Daily Motion　　2. Apparent Annual Motion




**شکل (۲-۲۸) ــ قرار گرفتن سه ستارهٔ آلفا ـ دب اصغر (جُدَی)، اِتا ـ دُب اکبر و اپسیلن ـ ذات‌الکرسی بر روی نصف‌النهار یک محل.**

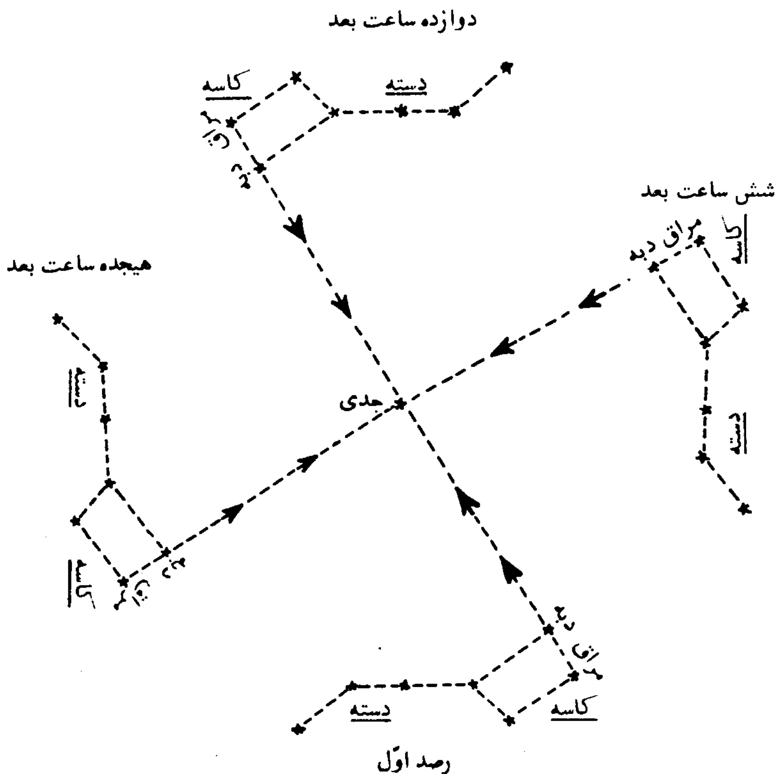
همه می‌دانند که ظاهراً خورشید در مشرق طلوع و پس از طی قوسی در آسمان، در مغرب غروب می‌کند.

ستارگان نیز مانند خورشید ظاهراً قوسهایی را، از قسمت شرقی افق به قسمت غربی آن، می‌پیمایند. یک دوران کامل، ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹ ثانیه بطول می‌انجامد. در فصل هفتم خواهید دید که مدت این دوران را روز نجومی و یا روز ستاره‌ای [1] می‌نامند. مدت روز نجومی را بسهولت می‌توان در یک شب صاف بکمک یک ساعت مچی دقیق، تقریباً اندازه‌گیری کرد. برای این کار زمان طلوع یک ستارهٔ پرنور از افق شرقی را یادداشت کنید. در روز بعد دوباره زمان طلوع همان ستاره را ثبت

1. Sidereal Day.

نمایید. از تفاوت دو زمان، درخواهید یافت که هرستاره‌ای در مدت ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه، ظاهراً یک دور کامل را می‌پیماید. واژهٔ ظاهری، اغلب بدلیل درستی بکار می‌رود. این حرکت، براستی ظاهری است و حتی آن را می‌توان به‌عنوان خطای باصره شمرد. درحقیقت، این زمین است که به‌دور محور چرخشی خود و در جهت مخالف (ازمغرب به‌مشرق) دوران می‌کند و سبب حرکت ستارگان و خورشید بصورتی که درظاهر می‌بینیم می‌گردد. این دوران شبانه‌روزی را با مشاهدهٔ صورتی چون دب‌اکبر، می‌توان بخوبی رصد کرد.

مطابق آنچه‌که در شکل (۲۹-۲) نشان داده شده، اگر در رصد اول، این




شکل (۲۹-۲) — موقعیت دب‌اکبر در فواصل شش‌ساعته در آسمان. در مدت یک روز نجومی، دب‌اکبر یک دور کامل را در آسمان می‌پیماید. امّا تنها قسمتی از دایرهٔ مسیر را عملاً می‌توان مشاهده کرد، زیرا نور خورشید مشاهدهٔ ستارگان را در روز غیرممکن می‌سازد.

صورت فلکی محاذی افق و کاسهٔ آن در طرف راست باشد، شش ساعت بعد، دستهٔ آبگردان، بطرف پایین خواهد بود. دوازده ساعت پس از رصد اوّل، دهانهٔ باز کاسهٔ آبگردان رو به پایین بنظر خواهد رسید. هیجده ساعت پس از رصد اوّل، دستهٔ آبگردان به‌سمت بالا خواهد بود.

در هر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و چهار ثانیه، دب اکبر را در هریک از این وضعیتها می‌توان دید. البته در بخشی از این مدت، آفتاب مانع رصد کردن خواهد بود. چه نور ضعیف ستاره‌ها را در آسمان روشن روز، نمی‌توان مشاهده کرد.

حال که با حرکت ظاهری روزانهٔ صورت فلکی دب اکبر آشنا شدیم، در مرحلهٔ بعد به‌حرکت ظاهری سالانهٔ آن می‌پردازیم:

این واقعیت که ستارگان یک‌گردش کامل را درکمتر از بیست‌وچهار ساعت انجام می‌دهند، بسیار مهم است؛ معنی دیگر این واقعیت اینست که ستارگان و یا صورت فلکی دب اکبر، در مدت ۲۴ ساعت بیش از یک گردش کامل را می‌پیمایند. تفاوت میان ۲۴ ساعت و یک دورهٔ تناوب گردش عبارتست از:

— ۲۴ ساعت

۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه

۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه

درنتیجه، ستارگان در سه دقیقه و ۵۶ ثانیهٔ باقیمانده، دوران بعدی را شروع می‌کنند. این مطلب ازطریق رصد هم قابل اثبات است.

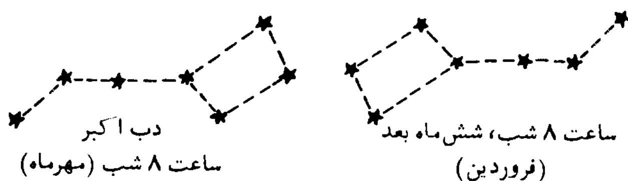
ستاره‌ای که فرضاً در ساعت هشت شامگاه جمعه، درست در بالای افق پدیدار می‌شود، شامگاه روز بعد در ساعت هشت، اندکی بالاتر از حد روز قبل در افق دیده خواهد شد و درساعت هشت شامگاه روز یکشنبه، ارتفاع بیشتری از افق خواهد داشت و یک ماه بعد درساعت هشت، بمقدار قابل ملاحظه‌ای از افق بالاتر خواهد بود.

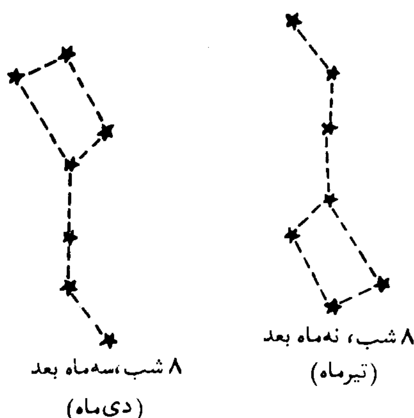
بعد ازسه ماه، درساعت هشت بعدازظهر ستارهٔ مزبور باندازهٔ ربع دایره، از افق شرقی فاصله خواهد داشت.

این حرکت ستارگان نیز حرکتی ظاهری و نتیجهٔ حرکت واقعی زمین، حول خورشید است. زمین در حرکت انتقالی خود به‌دور خورشید، یک گردش کامل را در دوازده ماه می‌پیماید. به همین ترتیب صورتهای فلکی، ازجمله دب اکبر دارای یک حرکت ظاهری سالانه است.

بدین طریق درساعت هشت بعدازظهر، درمهرماه، دب اکبر در نزدیکی افق

و در وضعیتی است که دهانهٔ باز کاسه، رو ببالا است. سه ماه بعد در همان زمان بهنگام شب، دستهٔ آبگردان روبپایین است. در فروردین ماه، در همان وقت شب، دب اکبر ارتفاع زیادی ازافق داشته، کاسهٔ آبگردان، درطرف چپ قرار خواهد گرفت. در تیرماه در همان ساعت شب، کاسهٔ آبگردان بطرف پایین است، شکل (۳۰-۲).




شکل (۳۰-۲)—حرکت ظاهری سالیانهٔ دُب اکبر

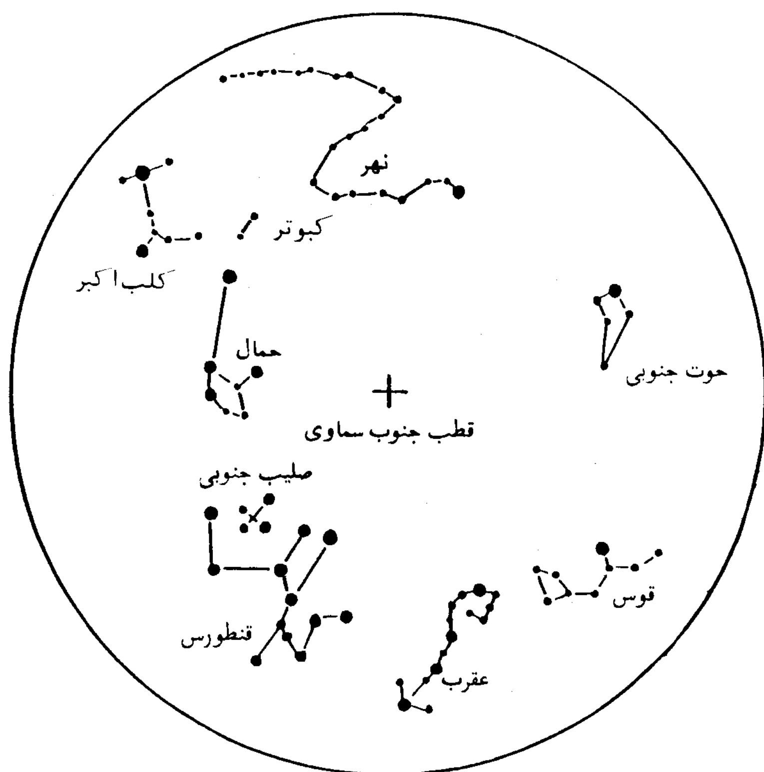
بنابراین با جمع تعداد حرکات ظاهری روزانه و سالیانه، می‌بینیم که در مدتی برابر ۳۶۵/۲۵ روز، دب اکبر ۳۶۶/۲۵ بار گردش ظاهری دارد. که ۳۶۵/۲۵ بار آن، حرکت ظاهری روزانه، در اثر حرکت وضعی زمین و یک بار آن، حرکت ظاهری سالانه، درنتیجهٔ حرکت انتقالی آن است.

با آنچه که بیان شد می‌بینیم که وضعیت دب اکبر همیشه در یک جای آسمان، ثابت نیست. آشنایی با حرکات ظاهری دب اکبر، ما را، در، یافتن آن کمک خواهد کرد.

درنتیجهٔ استفاده از صورت فلکی دب اکبر، ستارهٔ قطبی، بسادگی پیدا می‌شود. لذا اگر در یک زمین هموار روبروی این ستاره، طوری بایستیم که مستقیماً به‌جلو و

به‌طرف آن نگاه کنیم، جهت روبروی ما، جهت شمال جغرافیایی خواهد بود. این گونه جهت یابی اگرچه کاملا دقیق نیست، اما در بسیاری ازموارد، می‌تواند کارساز باشد.

آنچه که تا بحال گفته شد مربوط به‌نیمکرهٔ شمالی زمین بود یعنی این فقط در نیمکرهٔ شمالی است که ستارهٔ روشنی مانند ستارهٔ قطبی، در فاصلهٔ خیلی نزدیک به‌قطب شمال سماوی، قابل رؤیت است. چنانچه در شکل (۲-۳۱) می‌بینیم، در نزدیکی قطب




شکل (۲-۳۱) — ستارگان دورقطبی‌جنوبی. در نزدیکی قطب جنوب سماوی هیچ ستارهٔ روشنی وجود ندارد.

جنوب سماوی[1] هیچ ستارهٔ روشنی وجود ندارد. سه صورت فلکی زیبا، آسمان نیمکرهٔ جنوبی را می‌آرایند. کارینا[2] (حمّال، شاه‌تخته، باربر) یکی از این سه صورت است،

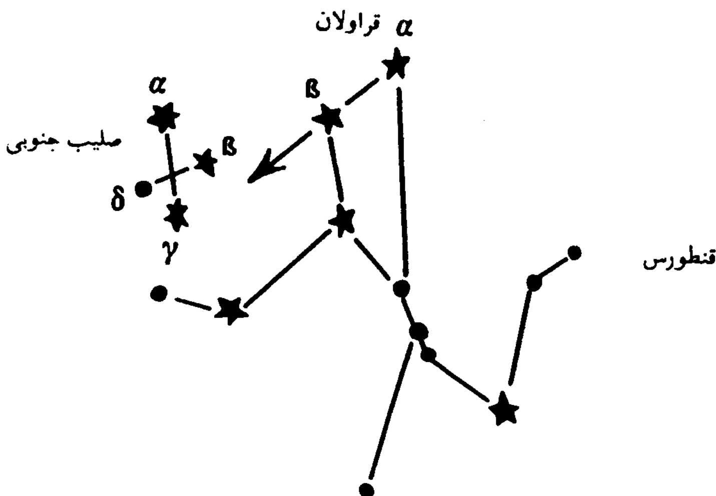
1. South Celestial Pole    2. Carina (The Ship's Keel)

صلیب جنوبی[1]، صورت دیگری است که سخت مورد توجه اهالی نیمکرهٔ جنوبی است. صورت سوّم قنطورس[2] است (این اسم دارای ریشهٔ لاتین و یونانی است و از نام حیوانی افسانه‌ای[3] که نیم‌تنهٔ بالای او بشکل انسان و نیم‌تنهٔ دیگر بشکل اسب بوده، گرفته شده است).

این ستارگان برای رصدکنندگان عرضهای جغرافیایی میانه، در نیمکرهٔ شمالی، همیشه زیر افق قرار دارند و درنتیجه، قابل رؤیت نیستند. آنها از نیم‌کرهٔ جنوبی زمین دیده می‌شوند و به‌ستارگان دورقطبی جنوبی[4]، موسومند. بهترین جا برای رصدکردن آنها، استرالیا، آفریقای جنوبی و آمریکای جنوبی است.

از میان سه صورت فلکی ذکرشده، فقط دو صورت صلیب و حمّال می‌تواند در جهت‌یابی مورد استفاده قرار بگیرند:

نزد دریانوردان سراسر جهان $\alpha$ (آلفا)ـقنطورس با نام رِجل قنطورس (پای قنطورس) شهرت دارد. بفاصلهٔ چند درجه از $\alpha$ (آلفا)ـقنطورس، $\beta$ (بتا)ـقنطورس، واقع است. این دوستاره، قراولان نیمکرهٔ جنوبی‌اند. مطابق شکل (۲ـ۳۲)، خطی که



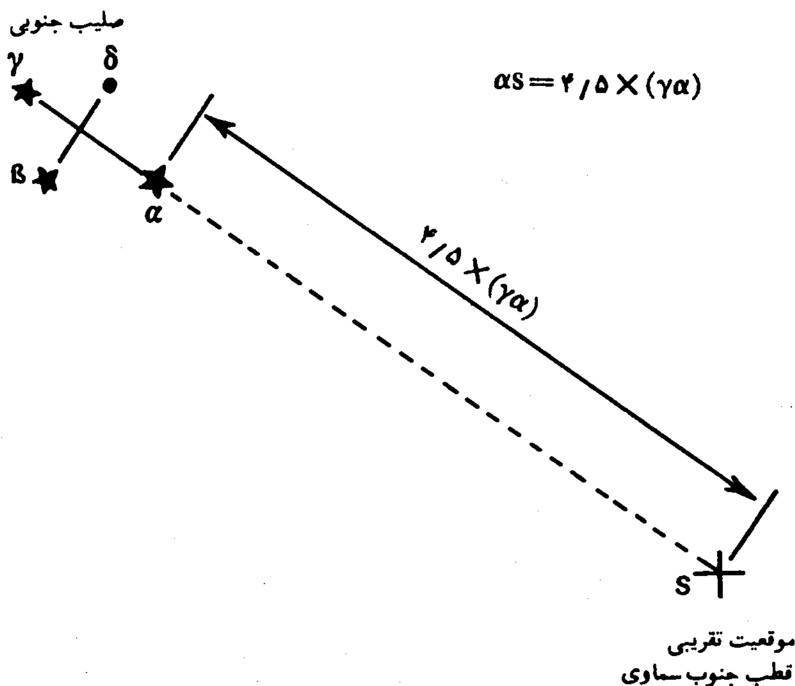

شکل (۲ـ۳۲)ــقراولان نیمکرهٔ جنوبی. چون خط واصل $\alpha$ و $\beta$ ادامه یابد، به‌شمالی‌ترین ستارهٔ صلیب جنوبی می‌رسد.

1. Crux (The Southern Cross) 2. Centaurus 3. Centaur
4. South Circumpolar Star

از $\alpha$ و $\beta$ می‌گذرد به‌شمالی‌ترین ستارهٔ صلیب جنوبی اشاره می کند. بدین ترتیب جهت شمالی صلیب جنوبی مشخص می‌گردد.

در مرحلهٔ بعد، صلیب جنوبی می‌تواند بسهولت برای پیدا کردن حدود قطب جنوب سماوی، مورد استفاده قرار گیرد. چنانکه مطابق شکل (۳۳-۲)، فاصلهٔ میان $\alpha$ (آلفا)-صلیب جنوبی و $\gamma$ (گاما)-صلیب جنوبی را باندازهٔ چهارونیم برابر از ستارهٔ $\alpha$ (آلفا)-صلیب جنوبی امتداد دهیم، محل تقریبی قطب جنوب سماوی، بدست خواهد آمد. لذا چنانکه در یک زمین هموار، روبروی محل قطب جنوب سماوی بایستیم و مستقیماً به‌جلو و سمت آن نگاه کنیم، جهت روبروی ما، جنوب جغرافیایی خواهد بود.

علاوه‌براین روش، در نیمکرهٔ جنوبی، می‌توان بسادگی از روی فازهای ماه نیز




شکل (۳۳-۲) — تعیین موقعیت تقریبی قطب جنوبی سماوی با رصد صورت فلکی صلیب جنوبی. اگر فاصلهٔ میان $\alpha$ (آلفا)-صلیب جنوبی و $\gamma$ (گاما)-صلیب جنوبی باندازهٔ چهارونیم برابر از ستارهٔ $\alpha$ (آلفا)-صلیب جنوبی امتداد داده شود، موقعیت تقریبی قطب جنوب سماوی در آسمان، مشخص می‌شود.

در شب، جهت‌یابی کرد که در مطلب بعدی چگونگی روش، ذکر شده است.

## ۸. جهت‌یابی بوسیلهٔ ماه

اهلهٔ قمر[1] و یا صور ماه و همچنین وضعیّتهای[2] ماه نسبت به‌زمین و خورشید در فصل ششم شرح داده شده است.

می‌دانیم که ماه در اثر انعکاس نور خورشید می‌درخشد. بنابراین از قسمت روشن ماه می‌توان جهت تابش نور خورشید را معلوم کرد. اندکی بعد از ماه نو، باریکه روشنی از ماه بعد از غروب آفتاب، در قسمت غربی افق دیده می‌شود که به‌آن هلال ماه نو گویند. از مرحلهٔ هلال ماه نو به بعد، بتدریج بر پهنای قسمت روشن ماه افزوده می‌شود که درنتیجه، پس از عبور از مراحل تربیع اوّل و تثلیث، به‌مرحلهٔ ماه شب چهارده و یا بدر می‌رسد. از مرحلهٔ ماه نو تا بدر که درواقع نیمهٔ اوّل ماه قمری است، مرحلهٔ روبه‌بدر نامیده می‌شود. در مرحلهٔ روبه‌بدر همواره قوس روشن ماه روبه‌مغرب است. بنابراین از مرحلهٔ هلال ماه نو تا مرحلهٔ بدر، می‌توان جهت مغرب را از روی ماه پیدا کرد. اما در خود مرحلهٔ بدر، جهت‌یابی از این طریق ممکن نیست، ولی با توجه به‌محلّ طلوع و یا غروب آن و همچنین دقت در مسیر حرکت ماه در آسمان، تا حدی می‌توان جهتها را نیز در این مرحله شناخت.

نیمهٔ دوّم ماه قمری، یعنی مراحلی را که ماه پس از قرص کامل یا بدر، بسوی ماه نو طی می‌کند، مرحلهٔ محاق می‌نامند. درواقع عکس مرحلهٔ اول است. در مرحلهٔ محاق قوس روشن ماه در تمام مراحل، رو بسوی مشرق دارد. بنابراین در نیمهٔ دوّم ماه، از روی قوس روشن ماه می‌توان جهت مشرق را معلوم کرد. در مرحلهٔ ماه نو، قرص ماه در آسمان دیده نمی‌شود. لذا این روش جهت‌یابی، موردی پیدا نمی‌کند.

بنابراین با توجه به‌قرص ماه، بسادگی می‌توان جهت مغرب را در نیمهٔ اوّل ماه و جهت مشرق را در نیمهٔ دوّم ماه بطور تقریب مشخص کرد. این روش، بخصوص در نیمکرهٔ جنوبی، که ستارهٔ روشنی در محل قطب جنوب سماوی وجود ندارد، می‌تواند بسادگی برای جهت‌یابی در شب، بکار گرفته شود.

1. Phases of the Moon 2. Aspects of the Moon

## ۹. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه محاسبهٔ سمت[1] خورشید

قبلا درمطلب شمارهٔ (۲) و (۳) در این فصل، چگونگی تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظهٔ ظهر خورشیدی بیان شد. روشی که در اینجا بیان می‌شود؛ در هروقت روز، بشرط تابش آفتاب، قابل اجراست.

سمت خورشید و یا هرستاره‌ای، در فصل ششم کتاب تعریف شده است. اگر خطی که ناظر را به‌خورشید وصل می‌کند بر صفحهٔ افق تصویر کنیم، زاویه‌ای که خط تصویرشده با امتداد جنوب جغرافیایی می‌سازد، سمتِ خورشید نامیده می‌شود. با توجه به‌امتداد جنوب جغرافیایی، زاویهٔ حاصل، ممکن است بطرف مشرق و یا مغرب باشد.
سمتِ خورشید را می‌توان برای هرساعتی از هرروز معین با استفاده از فرمولهای زیر، محاسبه کرد:

$$\tan A = \frac{\tan h \cos N}{\sin(\varphi - N)} \qquad (۱—۲)$$

که مقدار پارامترN ، خود از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\tan N = \frac{\tan\delta}{\cos h} \qquad (۲—۲)$$

در این دو فرمول مقادیر δ، h وA به‌شرح زیر است:

$\delta$ = میل خورشید برحسب درجه
$h$ = زاویهٔ ساعتی[2] خورشید برحسب درجه
$\varphi$ = عرض جغرافیایی محل ناظر، برحسب درجه
A = سمتِ خورشید نسبت به‌جنوب جغرافیایی، برحسب درجه

گاهی زمان، بجای ساعت، برحسب درجه، بیان می‌شود؛ بطوری که هر۲۴ ساعت برابر ۳۶۰ درجه و درنتیجه، هرساعت برابر ۱۵ درجه می‌شود. در این‌گونه موارد است که زاویهٔ ساعتی، مصداق پیدا می‌کند. درمورد خورشید، مبنای مقایسه، لحظهٔ ظهر خورشیدی است که زاویهٔ ساعتی در این لحظه، برابر صفر است. در ساعت یک بعدازظهر به‌وقت شمسی حقیقی، زاویهٔ ساعتی خورشید، برابر ۱۵ درجه و در ساعت دو بعدازظهر، برابر ۳۰ درجه است. در ساعت ۱۰ و ۱۱ صبح بوقت شمسی حقیقی

1. Azimuth 2. Hour Angle

زاویهٔ ساعتی خورشید نیز به‌ترتیب برابر ۳۰ و ۱۵ درجه است. وقت شمسی حقیقی همان پارامتر ( LAT )، در فرمول (۳ـ۱) است، که در فصل اول، بیان گردید. بنابراین زاویهٔ ساعتی خورشید، از تبدیل وقت شمسی حقیقی به‌درجهٔ زاویه‌ای، بدست می‌آید. در جدول (۱ـ۲)، اوقات قبل و بعدازظهر به‌وقت شمسی حقیقی برحسب زاویهٔ ساعتی داده شده است.

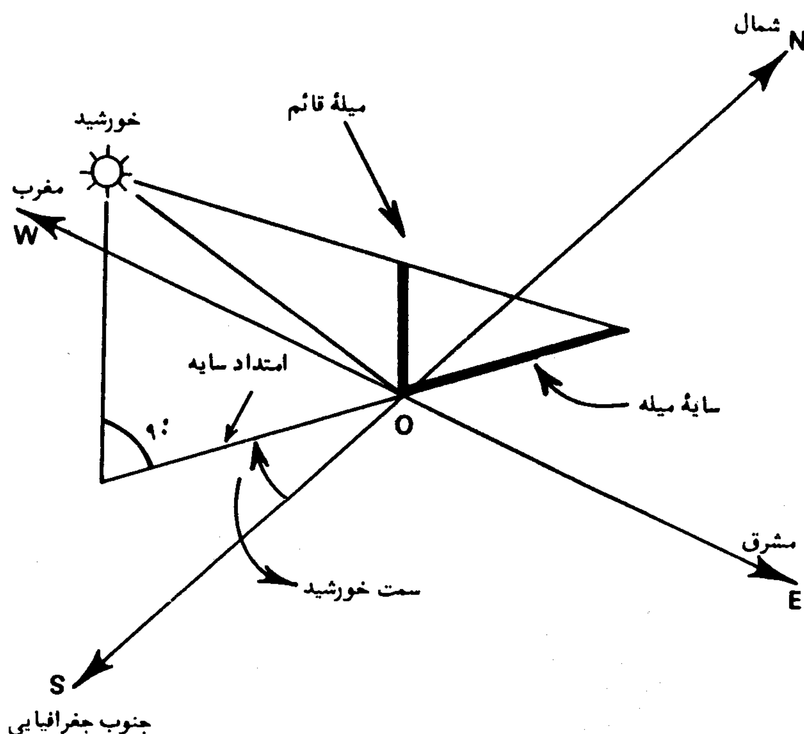
| وقت ساعت خورشیدی بعدازظهر | | زاویه ساعت خورشیدی برحسب درجه | | وقت ساعت خورشیدی قبل ازظهر | |
|---|---|---|---|---|---|
| دقیقه | ساعت | دقیقه | درجه | دقیقه | ساعت |
| ۰ | ۱۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۲ |
| ۳۰ | ۱۲ | ۳۰ | ۷ | ۳۰ | ۱۱ |
| ۰ | ۱ | ۰ | ۱۵ | ۰ | ۱۱ |
| ۳۰ | ۱ | ۳۰ | ۲۲ | ۳۰ | ۱۰ |
| ۰ | ۲ | ۰ | ۳۰ | ۰ | ۱۰ |
| ۳۰ | ۲ | ۳۰ | ۳۷ | ۳۰ | ۹ |
| ۰ | ۳ | ۰ | ۴۵ | ۰ | ۹ |
| ۳۰ | ۳ | ۳۰ | ۵۲ | ۳۰ | ۸ |
| ۰ | ۴ | ۰ | ۶۰ | ۰ | ۸ |
| ۳۰ | ۴ | ۳۰ | ۶۷ | ۳۰ | ۷ |
| ۰ | ۵ | ۰ | ۷۵ | ۰ | ۷ |
| ۳۰ | ۵ | ۳۰ | ۸۲ | ۳۰ | ۶ |
| ۰ | ۶ | ۰ | ۹۰ | ۰ | ۶ |
| ۳۰ | ۶ | ۳۰ | ۹۷ | ۳۰ | ۵ |
| ۰ | ۷ | ۰ | ۱۰۵ | ۰ | ۵ |
| ۳۰ | ۷ | ۳۰ | ۱۱۲ | ۳۰ | ۴ |
| ۰ | ۸ | ۰ | ۱۲۰ | ۰ | ۴ |

**جدول (۱ـ۲) ــ زاویهٔ ساعتی خورشیدی از ساعت ۴ صبح تا ۸ بعدازظهر به‌وقت شمسی حقیقی**

مراحل کار بدین ترتیب است که برای ساعت معینی از روز، وقت معادل را برحسب وقت شمسی حقیقی، برای نصف‌النهار محل حساب می‌کنیم.ـ این بدان معنی

است که علاوه بر عرض جغرافیایی محل، که برای فرمولهای مذکور مورد نیاز است، می‌بایست طول جغرافیایی محل را نیز بدانیم. سپس وقت شمسی حقیقی بدست‌آمده را به‌شرحی که گذشت و یا با استفاده از جدول (۱-۲) به‌زاویهٔ ساعتی تبدیل می‌کنیم. آنگاه میل خورشید را با استفاده از جدول (۱-۶) بدست آورده، سپس سمت خورشید را از فرمولهای داده‌شده محاسبه می‌کنیم. مرحلهٔ بعدی، این خواهد بود که مطابق شکل (۲-۳۴)، دقیقاً درساعت معین شده، از امتداد سایهٔ یک میلهٔ عمودی (یا نخ شاقول) بر یک صفحهٔ افقی، زاویهٔ سمت محاسبه‌شده را جدا کرده، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را بدست آوریم.

از مزایای این روش اینست که تصحیحات مربوط به‌اختلاف منظر و شکست نور خورشید در اتمسفر، اثری درنتیجهٔ این روش، ندارد. همچنین می‌توان فرض کرد که سایهٔ ایجادشده، در زمان معین‌شده، از مرکز خورشید، ناشی گشته است. دقت




شکل (۲-۳۴) — مشخص کردن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سمت خورشید.

روش، بستگی به دقت در عمود بودن میله و مشخص کردن دقیق امتداد سایه در زمان معین شده را دارد. نکتهٔ دیگر اینکه ممکن است، در محلی امتداد شاقول از مرکز زمین نگذرد. چگونگی اثر این پدیده در فصل هشتم کتاب، بر خواننده آشکار خواهد شد.

برای روشن شدن امر، به‌ذکر مثالی می‌پردازیم:

**مثال (۲-۲):** سمتِ خورشید را در ساعت ۹ صبح به‌وقت رادیوایران در روز بیست‌ودوّم مهرماه در نقطه‌ای در تهران با طول جغرافیایی ″۳۹ ′۲۵ °۵۱ و عرض جغرافیایی ′۴۳ °۳۵ محاسبه کرده، سپس با توجه به نتیجهٔ محاسبه، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل را مشخص کنید.

**راه‌حل:** اوّل باید حساب کنیم، آنگه که مطابق وقت استاندارد ایران، ساعت ۹ صبح است، به‌وقت شمسی حقیقی، در محل، چه ساعتی است. برای این کار، از فرمولهای (۳-۱) و (۴-۱) استفاده می‌کنیم. در اینجا هم مانندمثال (۱-۲)، نصف‌النهار محل، در مغرب نصف‌النهار استاندارد ایران است. لذا علامت LA منفی است. طول جغرافیایی و اندازهٔ تعدیل زمان، همان مقادیر مثال (۱-۲) است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$LAT = ۹ + ۱۳/۷۸۳۳۳ - LA$$

$$LA = ۴ \times (۵۲/۵ - ۵۱/۴۲۷۵) = ۴/۲۹ \quad \text{دقیقه}$$

$$LAT = ۹ + ۱۳/۷۸۳۳۳ - ۴/۲۹$$

ساعت شمسی حقیقی ۸/۸۴۱۷۷۷۸ = ۳۰/۴ ثانیه و ۵۰ دقیقه و ۸ ساعت= LAT

حال می‌بایست این ساعت را به‌زاویهٔ ساعتی تبدیل کرد و چون ظهر شمسی حقیقی مبنای کار است، پس: زاویهٔ ساعتی خورشید در ساعت ۹ صبح برابر $h = (۱۲ - ۸/۸۴۱۸) \times ۱۵^\circ = ۴۷^\circ/۳۷۳۳۳۳$ است. مقدار میل خورشید در روز بیست‌ودوّم مهرماه (چهاردهم اکتبر) از جدول (۱-۶) برابر ′۵۵ °۷ − = δ است.

بنابراین با استفاده از فرمول (۲-۲) خواهیم داشت:

$$\tan N = \frac{\tan(-۷^\circ/۹۱۶۷)}{\cos(۴۷^\circ/۳۷۳۳)} = -۰/۰۲۵۳۳$$

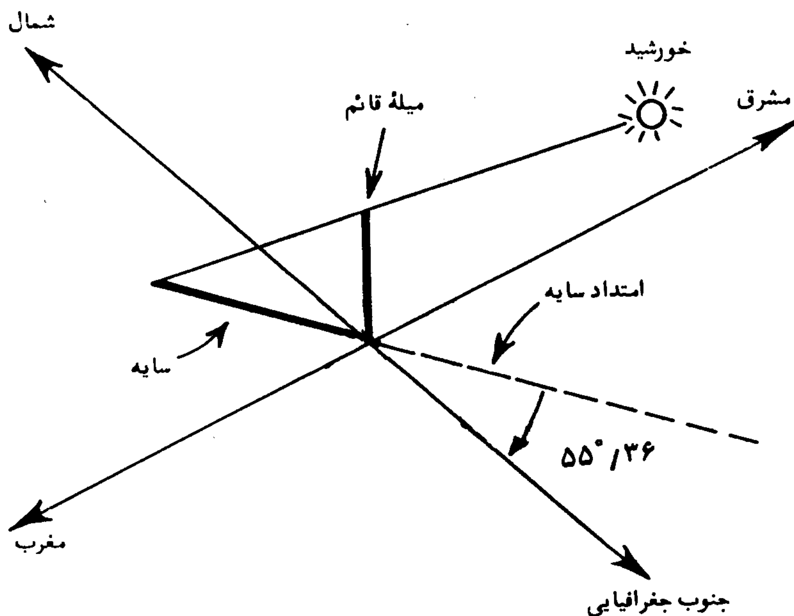
$$N = -۱۱^\circ/۶۰۳۶۵۱$$

سپس از فرمول (۱-۲) مقدار سمت را محاسبه می‌کنیم:

$$\tan A = \frac{\tan(۴۷^\circ/۳۱۰۸)\cos(-۱۱^\circ/۶۰۳۶)}{\sin(۳۵^\circ/۷۱۶۷+۱۱^\circ/۶۰۳۶)} = ۱/۴۴۷۷$$

$$A = ۵۵^\circ/۳۶$$

این زاویه‌ای است که خورشید تصویر شده بر سطح افق، با امتداد جنوب جغرافیایی می‌سازد. در آخرین مرحله، مطابق شکل (۲-۳۵) سایهٔ یک میلهٔ قائم را در رأس ساعت ۹ صبح ۲۲ مهر ماه مشخص می‌کنیم. سپس خط سایه را در جهت خلاف سایه، بطرف جلو امتداد داده و از پای میلهٔ عمودی بطرف مغرب، زاویه‌ای برابر ۳۶/ ۵۵° جدا می‌کنیم، ضلع بدست آمده، امتداد جنوب جغرافیایی است.




شکل (۲-۳۵) — تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، نقطه‌ای در تهران

## ۱۰. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی[1]

علاوه‌بر لحظهٔ ظهر شرعی، وقت مناسب دیگر برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی است. صفحهٔ دایرهٔ نصف‌النهار اصلی بر صفحهٔ نصف‌النهار سماوی عمود بوده و از سمت‌الرأس ناظر و نقاط مشرق و مغرب جغرافیایی عبور می‌کند. بنابراین امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم در لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی، امتداد مشرق ـ مغرب جغرافیایی را مشخص خواهد کرد. خورشید در طول روز دوبار، یکی قبل از ظهر و دیگری بعد از ظهر، از سطح نصف‌النهار اصلی یک محل، عبور می‌کند و لذا در هر روز می‌توان در صبح و یا بعد از ظهر این روش را بکار گرفت (فقط نیمی از سال).

لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار یک محل از فرمول زیر محاسبه می‌گردد: اثبات این فرمول در فصل ششم داده شده است.

$$\cos h = \tan\delta \cot\varphi \qquad (۲\text{-}۳)$$

چنانکه از این فرمول پیداست، با دانستن میل خورشید و عرض جغرافیایی محل، زاویهٔ ساعتی لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی محل محاسبه می‌شود. سپس زاویهٔ ساعتی محاسبه شده با استفاده از جدول (۱ـ۲) به‌وقت شمسی حقیقی. تبدیل و آنگاه وقت بدست آمده را با استفاده از فرمول (۳ـ۱) به‌وقت استاندارد و یا رسمی تبدیل می‌کنیم. در نهایت، درست در وقت رسمی محاسبه شده، سایهٔ یک میلهٔ قائم را مشخص می‌کنیم. امتداد سایه، جهت مغرب ـ مشرق جغرافیایی محل است که بر جهت شمال جنوب جغرافیایی عمود است.

برای روشن‌تر شدن روش، به‌ذکر مثالی مبادرت می‌کنیم:

**مثال (۳ـ۲)**ــ لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی در تاریخ و محل داده شده در مثال (۲ـ۲) را محاسبه کنید.

**راه حل**ــ با استفاده از رابطهٔ (۳ـ۲) خواهیم داشت:

$$\cos h = \tan(-۷^\circ/۹۱۶۷)\cot(۳۵^\circ/۷۱۶۷)$$

$$\cos h = -۰/۱۹۳۴$$

$$h = ۱۰۱^\circ/۱۵$$

1. Prime Vertical

$$h = \frac{۱۰۱^\circ/۱۵}{۱۵^\circ} = ۶/۷۴ \quad \text{ساعت}$$

بنابراین در ساعت ۶/۷۴ بعد از ظهر و ۵/۲۶ صبح (۱۲-۶/۷۴) به‌وقت شمسی حقیقی، خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی محل عبور خواهد کرد.

امّا بنظر می‌رسد که در این وقت و تاریخ، خورشید در ساعتهای فوق‌الذکر غروب کرده و یا هنوز طلوع نکرده باشد. کنترل این مطلب، از فرمول زیر که زاویهٔ ساعتی غروب و یا طلوع خورشید را نشان می‌دهد، ممکن است. این فرمول نیز در فصل ششم کتاب، ذکر شده است.

$$\cos h = -\tan\delta \tan\varphi \tag{۲-۴}$$

و زاویهٔ ساعتی طلوع و یا غروب خورشید در این مثال، خواهد شد:

$$\cos h = -\tan(-۷^\circ/۹۱۶۷)\tan(۳۵^\circ/۷۱۶۷)$$

$$\cos h = -۰/۰۹۹۹۸ \qquad h = ۹۵^\circ/۷۴$$

ساعت غروب به‌وقت شمسی حقیقی $h = \frac{۹۵^\circ/۷۴}{۱۵^\circ} = ۶/۳۸$

ساعت طلوع به‌وقت شمسی حقیقی $۱۲ - ۶/۳۸ = ۵/۶۲$

حدس ما، درست بود و بدین ترتیب در تاریخ مربوط، خورشید قبل از طلوع و بعد از غروب، از سطح نصف‌النهار اصلی محل مورد نظر می‌گذرد. بنابراین بکاربردن این روش، در این تاریخ، ممکن نیست. حال اگر به‌مطلب حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید وشکلهای مربوط، که در مطلب شمارهٔ (۶) در این فصل داده شد، برگردیم، بسادگی درمی‌یابیم که کاربرد این روش فقط در نیمی از سال در فصلهای بهار و تابستان، ممکن است و در نیمی دیگر، خورشید در طول روز، سطح نصف‌النهار اصلی را قطع نمی‌کند. حال به‌ذکر مثالی برای تاریخ دیگری که عمل، به‌این روش، امکان دارد، می‌پردازیم:

**مثال (۲-۴)**— لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی، در محل داده شده در مثال (۲-۲) را برای روز ۲۱ فروردین ماه تعیین کنید.

**راه حل**— در روز ۲۱ فروردین ماه (دهم آوریل) اندازهٔ میل خورشید از جدول (۱-۶) برابر ($+۷^\circ ۴۳'$) است. پس خواهیم داشت:

$$\cos h = \tan(۷^\circ/۷۱۷)\cot(۳۵^\circ/۷۱۷) = ۰/۱۸۸۵$$

$h=۷۹^\circ/۱۴ \qquad h=۵/۲۷۵۸$ ساعت

بنابراین در این تاریخ در ساعت ۵/۲۷۵۸ بعد از ظهر و ۶/۷۲۴۲ صبح، به‌وقت شمسی حقیقی، خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی در این محل، عبور خواهد کرد. حال باید دید به‌وقت رادیو ایران، چه ساعتی خواهد بود. در این روز، اندازهٔ تعدیل زمان (ثانیه ۳۲ و دقیقه ۱—) است و با استفاده از فرمولهای (۳ـ۱) و (۴ـ۱) خواهیم داشت:

$$۶/۷۲۴۲=ST-۱/۵۳۳۳-LA$$

$$LA=۴\times(۵۲^\circ/۵-۵۱^\circ/۴۲۷۵)=۴/۲۹ \text{ دقیقه}$$

$$ST=۶/۸۲۱۲۳ \text{ ساعت بعدازظهر}$$

لحظهٔ عبور در بعد از ظهر به‌وقت رادیو ایران:

ST= ۱۶/۴۳ ثانیه و ۴۹ دقیقه و ۶ ساعت

همچنین در صبح: $۵/۲۷۵۸=ST-۱/۵۳۳۳-۴/۲۹$

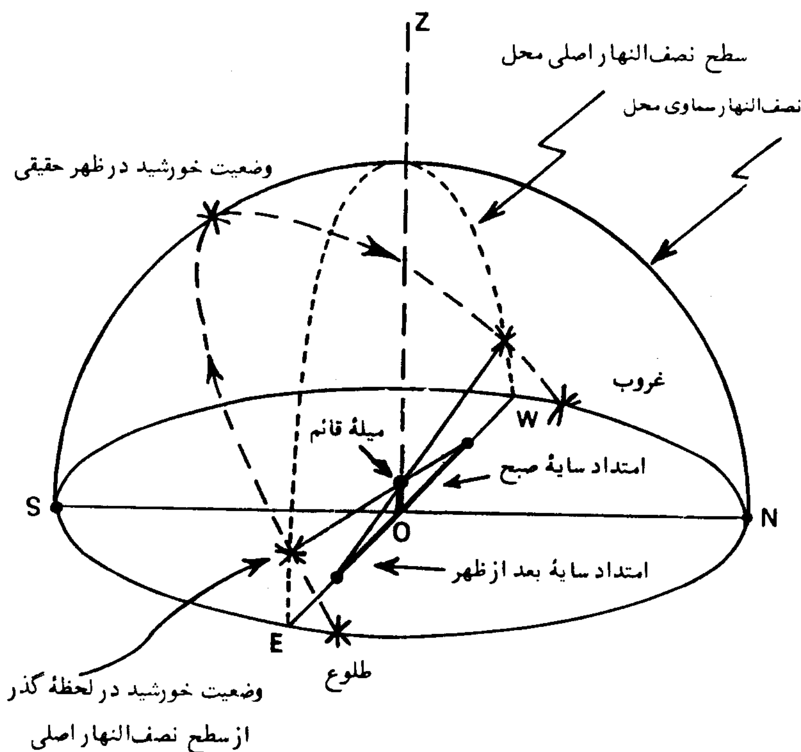
$$ST=۵/۳۷۲۸۸ \text{ ساعت صبح}$$

لحظهٔ عبور در صبح به‌وقت رادیو ایران: ۲۲/۳۷ ثانیه و ۲۲ دقیقه و ۵ ساعت =ST

حال که اوقات عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی محاسبه شد، در مرحلهٔ آخر، درست در زمانهای محاسبه شده، مطابق شکل (۳۶ـ۲)، امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم را بر روی یک صفحهٔ کاملا افقی مشخص می‌کنیم. امتداد سایه، هنگام صبح، سمت مغرب جغرافیایی و در بعد از ظهر، سمت مشرق جغرافیایی خواهد بود. بجای میلهٔ قائم، می‌توان از سایهٔ یک دیوار و یا ستون قائم در محوطه نیز استفاده کرد.

در این روش چون امتداد سایه و یا در حقیقت سمت خورشید مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا تصحیح مربوط به‌شکست نور، اثری در نتیجهٔ کار نخواهد داشت. مزیت دیگر این روش، درازتر بودن طول سایه، نسبت به‌لحظهٔ ظهر خورشیدی است که در نتیجه، امتداد سایه با دقت بیشتری مشخص خواهد شد.

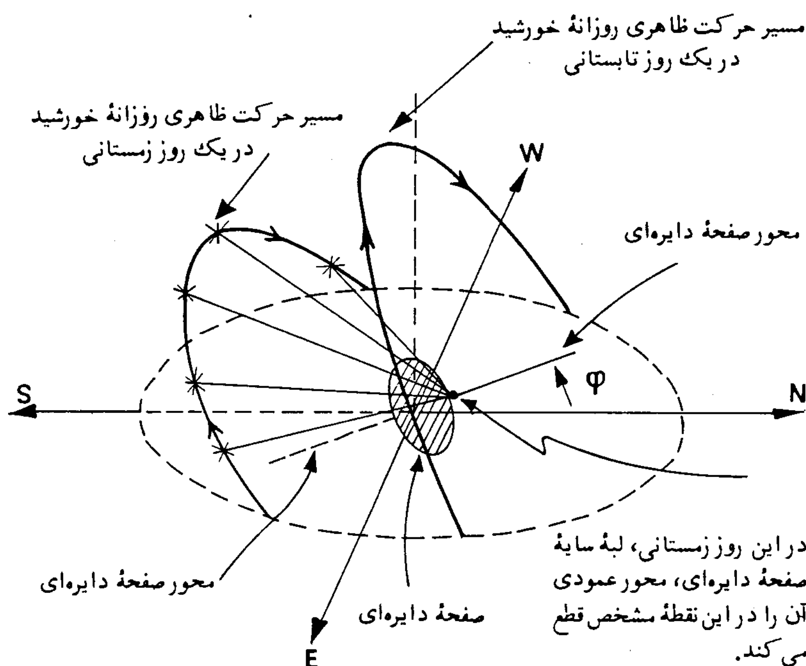
امتدادی که بدین ترتیب بدست می‌آید، بر امتدادی که در روش تعیین لحظهٔ ظهر خورشیدی و یا طول سایهٔ یک میلهٔ قائم مشخص می‌گردد، عمود است. لذا برای دقت بیشتر، می‌توان دو روش را در یک روز واحد بکار گرفته، صحت کار را سنجید.




**شکل (۲-۳۶) — تعیین امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی در تهران در لحظهٔ عبور خورشید از سطح نصف‌النهار اصلی در روز ۲۱ فروردین‌ماه.**

## ۱۱. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایهٔ یک صفحهٔ دایره‌ای شکل

اساس این روش به‌این صورت است که اگر صفحه‌ای دایره‌ای‌شکل را در محلی، موازی دایرهٔ استوا نگهداریم، بعبارت دیگر، اگر محور عمودی یک صفحهٔ دایره‌ای شکل، موازی محور زمین باشد، لبهٔ سایهٔ صفحهٔ دایره‌ای شکل، محور عمودی آن را در نقطه‌ای قطع می‌کند که در طول روز، جای آن بر روی محور عمودی، ثابت می‌باشد، شکل (۲-۳۷). محل این نقطه، بر روی محور عمودی صفحهٔ دایره‌ای‌شکل، به‌تاریخ روز مربوط، بسته است. فاصلهٔ آن تا مرکز صفحهٔ دایره‌ای‌شکل را




**شکل (۳۷-۲) — اساس تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایهٔ صفحهٔ دایره‌ای**

می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$y = r \tan\delta \qquad (۲\text{-}۵)$$

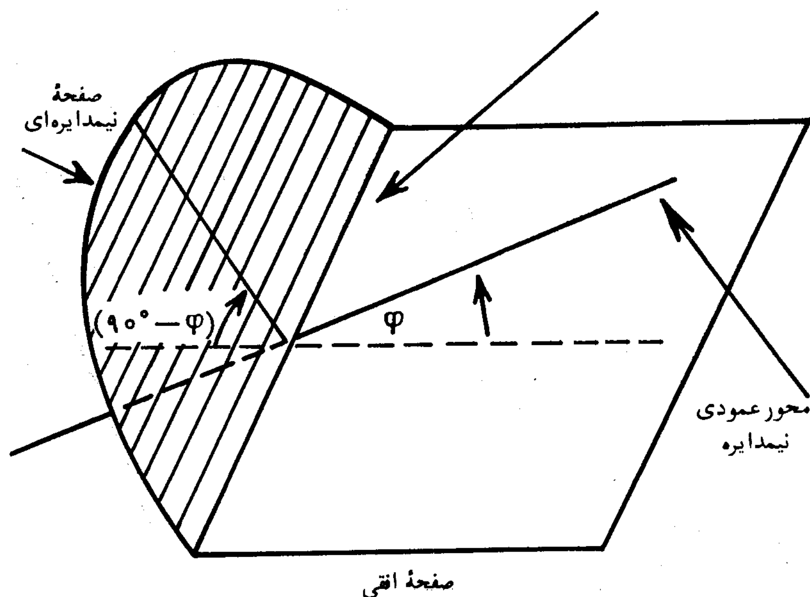
که در آن r شعاع صفحهٔ دایره‌ای و δ میل خورشید است. البته باید توضیح داد که میل خورشید علاوه‌بر تغییرات روزانه، حتی در طول یک روز هم در حال تغییر است، لذا با توجه به‌فرمول فوق محل نقطه بر روی محور عمودی صفحهٔ دایره‌ای، مطلقاً ثابت نمی‌باشد.

این توضیح هندسی را می‌توان در ساخت یک وسیلهٔ ساده، برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی مطابق شکل (۳۸-۲) بکار برد. وسیله از یک نیمدایره، که قطر آن کاملا بطور افقی و محور قائم آن موازی محور زمین است، تشکیل شده است. لذا زاویهٔ بین محور قائم صفحهٔ نیمدایره‌ای و صفحهٔ افق، برابر عرض جغرافیایی محل ($\varphi$) و درنتیجه، زاویهٔ خود صفحهٔ نیمدایره‌ای با صفحهٔ افق برابر ($۹۰° - \varphi$) خواهد

بود. اگر این وسیله، طوری بصورت افقی قرار گیرد که قطر آن در امتداد خط مشرق-مغرب جغرافیایی باشد، لبهٔ سایهٔ نیمدایره، محور قائم آن را در نقطهٔ صحیح مورد نظر، بنحوی که در بالا اشاره شد، قطع خواهد کرد. برعکس اگر وسیله، بصورت صحیح قرار نگرفته یعنی قطر آن در امتداد خط مشرق-مغرب حقیقی نباشد، در نتیجه، صفحهٔ نیمدایره‌ای، موازی صفحهٔ دایرهٔ استوا نبوده و لبهٔ سایهٔ آن، محور عمودی آن را در نقطهٔ صحیح مورد نظر قطع نخواهد کرد.

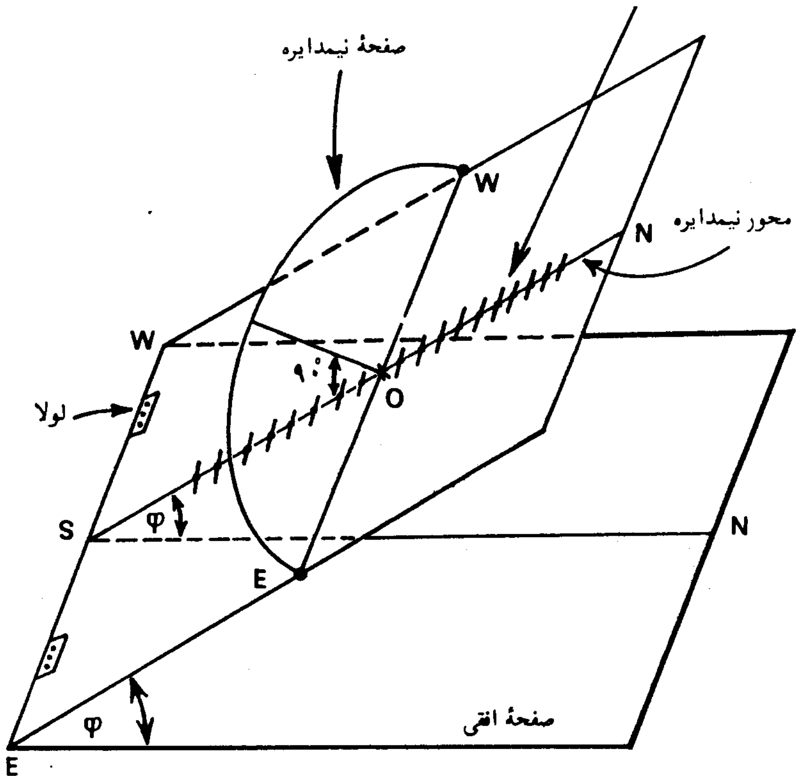
بنابراین از این وسیله می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی استفاده کرد. بدین ترتیب که وسیله را بر روی یک صفحهٔ افقی، آنقدر می‌چرخانیم که لبهٔ سایهٔ صفحهٔ نیمدایره‌ای، محور عمودی آن را دقیقاً در نقطهٔ صحیح با فاصلهٔ ۷ از مرکز نیمدایره که از فرمول (۵-۲) با توجه به‌اندازهٔ میل خورشید در تاریخ روز آزمایش محاسبه می‌شود، قطع کند. در این صورت قطر صفحهٔ نیمدایره، در امتداد خط مشرق-مغرب حقیقی و خط عمود بر آن، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی خواهد بود.

شکل (۳۸-۲)، یک شمای ساده است و در آن صفحه‌ای که محور نیمدایره بر




شکل (۳۸-۲) — شمای ساخت وسیلهٔ ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی

روی آن رسم می‌گردد، نشان داده‌نشده است. چنین صفحه‌ای با صفحهٔ افق، زاویه‌ای برابر با عرض جغرافیایی محل، می‌سازد که بر صفحهٔ نیمدایره عمود است. محور عمودی نیمدایره را می‌توان بر این صفحه رسم کرده، محل دقیق نقطه‌هایی که لبهٔ سایه، آن را در روزهای سال قطع می‌کند، بر روی آن درجه‌بندی کرد. این صفحه می‌تواند مطابق شکل (۲-۳۹)، حول لولایی حرکت کند که در نتیجه بتوان وسیله را برای عرضهای مختلف جغرافیایی بکار گرفت، چه مطابق فرمول (۲-۵)، طول فاصلهٔ y تابع عرض جغرافیایی محل نیست. البته چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود، درجه‌بندی مربوط به‌لبهٔ سایهٔ صفحهٔ نیمدایره‌ای در دو طرف محور آن، نشان داده شده است. این بدان جهت است که شش ماه از سال (بهار و تابستان در نیمکرهٔ شمالی) خورشید بر بالای صفحهٔ نیمدایره‌ای تابیده و شش ماه دیگر بر زیر آن خواهد تابید، چه، صفحهٔ درجه‌بندی نقاط تقاطع لبهٔ سایهٔ صفحه نیمدایره‌ای با محور آن در روزهای مختلف سال.




**شکل (۲-۳۹)—شمای ساخت وسیلهٔ ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در عرضهای جغرافیایی مختلف.**

نیمدایره‌ای به‌موازات صفحهٔ دایرهٔ استوای زمین است. در روز اوّل بهار و پاییز خورشید بر امتداد صفحه، قرار گرفته و لذا سایهٔ آن بر روی خط EW خواهد افتاد.

دقت این روش بستگی به‌دقت ساخت وسیله، و دقت در قراردادن آن دارد. همچنین این روش، در صورتی دقیقتر است که وسیله را صبح زود و یا قبل از غروب آفتاب بکار برد و در نزدیکیهای ظهر، دقت آن کمتر است. دقت این وسیله بشرطی که در چها ر ساعت وسط روز بکار نرود، می‌تواند درحدود یک درجه باشد. بنابراین چنین وسیله‌ای را می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، بشرط دانستن عرض جغرافیایی محل، در هر مکانی بکار گرفت.

## ۱۲. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از ساعتهای خورشیدی[1]

چنانکه می‌دانیم یک ساعت خورشیدی وسیله‌ای است که وقت را براساس حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید تعیین می کند. بیشتر انواع مختلف ساعتهای خورشیدی، دارای یک میله، دستک و یا تیغه‌ای به‌نام شاخص[2] اند که بر روی صفحه‌ای مدرج نصب می‌شوند. سایهٔ شاخص بر روی صفحهٔ مدرج، حکم عقربه[3] را دارد.

ساعتهای خورشیدی وقت شمسی حقیقی[4] محل را نشان می‌دهند و برای اینکه بتوان وقت نشان داده‌شده توسط آنها را به‌وقت رسمی تبدیل کرد، می‌بایست مطابق آنچه که قبلا اشاره شد، تصحیحات مربوط به‌تعدیل زمان و اختلاف طول جغرافیایی را منظور داشت.

شاید ساعت خورشیدی، قدیمی‌ترین ابزار علمی[5] باشد. تا قرن نوزدهم، معمول‌ترین وسیلهٔ سنجش وقت بود. با افزایش میزان دقت ساعتهای مکانیکی و رواج وقت رسمی و یا استاندارد به‌مقیاسی وسیع در قرن نوزدهم، از ارزش عملی ساعتهای خورشیدی کاسته شد، امّا موارد استفاده آنها کاملا از بین نرفت.

انواع ساعتهای خورشیدی را می‌توان در دو دستهٔ کلی، طبقه‌بندی کرد. دستهٔ اوّل براساس تغییر ارتفاع خورشید در طول روز کار می کنند و به‌نام ساعتهای خورشیدی ارتفاعی[6] موسوم‌اند. ارتفاع خورشید در یک نقطه با عرض جغرافیایی مشخص، به‌میل خورشید و وقت روز، بستگی دارد و تغییر طول سایهٔ یک شی، بعلت تغییرات ارتفاع خورشید است. بعضی از انواع ساعتهای خورشیدی قابل حمل‌اند[7] و شاید طبیعی است

1. Sundials 2. Gnomon 3. Pointer 4. Solar Apparent (Real) Time
5. Scientific Instrument 6. Altitude Dials 7. Portable Sundials

که در این گونه موارد از ساعتهای خورشیدی ارتفاعی استفاده کرد. زیرا بهنگام کاربرد ساعتهای خورشیدی ارتفاعی، نیازی به دانستن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، نیست.

دستهٔ دوم براساس سمت و یا زاویهٔ ساعتی خورشید کار می کنند. این گونه ساعتها را ساعتهای خورشیدی جهتی[1] می‌نامند. در این مورد، وقت از روی جهت سایه، بجای طول سایه، سنجیده می‌شود. کاربرد ساعتهای خورشیدی قابل حمل از نوع جهتی، ساده نیست، چه، می‌بایست، قبل از بکار بردن آنها، به‌طریقی امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل تعیین گردد و ساعت دقیقاً در امتداد خط نصف‌النهار محل قرار داده شود.

این مطلب قبل از اختراع قطب نما، کار ساده‌ای نبود. درطول قرنهای هیجدهم و نوزدهم، انواعی از ساعتهای خورشیدی جهتی قابل حمل، که مجهز به‌قطب‌نما بودند، ساخته شد که قطعاً نمی‌شد از آنها انتظار دقت زیادی را داشت. کمی دقت این گونه ساعتها، چنانکه قبلا نیز اشاره شده، بعلت عدم انطباق همیشگی امتداد خط نصف‌النهار محل بر امتداد شمال و جنوب مغناطیسی و همچنین اصطکاک عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما است. چه، در وقت نشان داده شده توسط این گونه ساعتها، هیچگونه تصحیحی به‌منظور جبران انحراف مغناطیسی و همچنین اصطکاک عقربهٔ آن صورت نمی گرفت.

این نقیصه با ترکیب دو ساعت خورشیدی که هر کدام براساس یکی از پارامترهای ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید، متکی بودند، مرتفع گردید. این نوع ساعتها را ساعتهای خورشیدی ترکیبی[2] می‌نامند. در این صورت صفحهٔ مشترک دو ساعت ، در جای خود آنقدر چرخانده می‌شود تا وقت نشان داده شده توسط دو ساعت، یکی باشد. در این صورت ساعت خورشیدی ترکیبی، خود بخود، در امتداد خط نصف‌النهار محل قرار می گیرد.

ساعتهای خورشیدی را می‌توان در جهت‌یابی، بصورتهای مختلف بکار برد. چون موضوع، از نظر یافتن قبله، دارای اهمیت تاریخی است، لذا فصل سوّم کتاب به‌این مطلب اختصاص داده شده است و در اینجا، خواننده می‌تواند شرح کامل روش را در فصل بعدی پیگیری کند.

البته کتاب دیگری به‌نام **ساعت‌ها ی خورشیدی، اصول و راهنما ی ساخت ، جلد اوّل** . از همین مؤلف توسط انتشارات امیرکبیر بطبع رسیده که خوانندگان محترم

1. Directional Dials 2. Combined Dials

می‌توانند برای مطالعهٔ بیشتر در مورد ساعتهای خورشیدی بطور کلی، به‌آن مراجعه کنند.

تا اینجای مطلب، روشهای متعددی برای یافتن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی بیان شد که می‌تواند با اندکی دقت و صرف وقت توسط همه‌کس بسادگی قابل اجرا باشد. بد نیست در ادامهٔ مطلب، به‌روشهای معمول در نجوم و نقشه‌برداری، اشارهٔ مختصری داشته باشیم:

## ۱۳. تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر

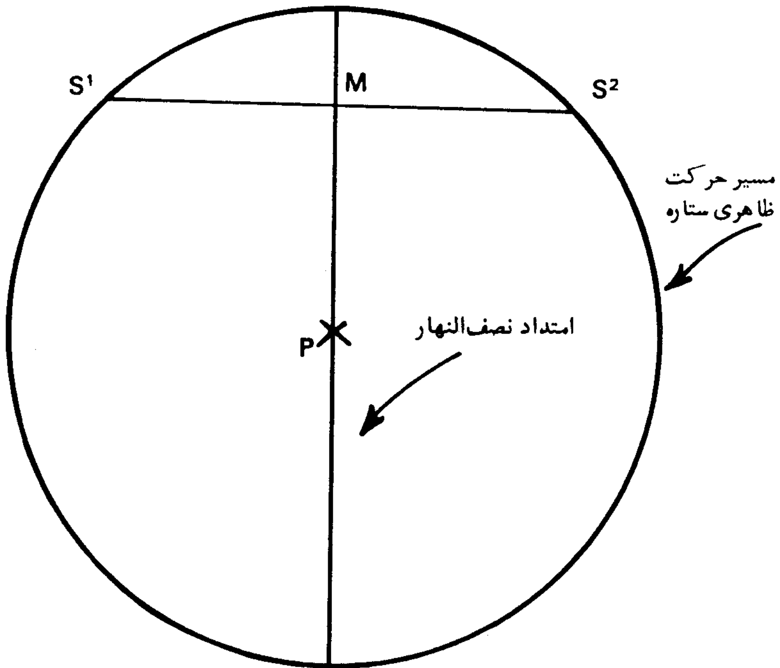
ساده‌ترین روش تعیین امتداد قطب سماوی، شاید روش رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر باشد. در این روش، دانستن طول و عرض جغرافیایی و زمان محلی مکان مورد نظر، ضروری نیست. امّا طول مدت رصد، که از چهار تا شش ساعت در شب به‌درازا می‌کشد، از معایب این روش است. بعلاوه، ممکن است میزان شکست نور ستاره در اتمسفر زمین، به‌مقدار قابل توجهی در طول مدت رصد تغییر کرده، در ارتفاع ستاره به‌اندازهٔ غیر مشخصی اثر گذارد.

اگر در شکل (۴۰-۲)، نقطهٔ P نشانهٔ قطب سماوی باشد، دایره‌ای که به‌مرکز P رسم شده، نمایانگر مسیر حرکت ظاهری یک ستاره، به‌دور آن است. فرض کنید ارتفاع ستارهٔ S در وضعیتی مانند $S_1$ با وسایل نجومی، اندازه‌گیری شود. حال اگر ناظر صبر کند و ارتفاع وسیلهٔ خود را تغییر ندهد، او دوباره همان ستاره را در وضعیت $S_2$ خواهد دید. واضح است که نقطهٔM ، در وسط $S_1$ و $S_2$ ، بر صفحهٔ قائمی[1] که از قطب سماوی گذر می‌کند، قرار داشته، در نتیجه امتداد نصف‌النهار سماوی را مشخص خواهد ساخت.

اساس روش ذکر شده در مطلب شمارهٔ (۱) در این فصل، که امتداد نصف‌النهار جغرافیایی یک محل با اندازه‌گیری دو ارتفاع مساوی خورشید تعیین می‌شود، بر همین روش متکی است.

چنانکه ملاحظه شد، در این روش، ناظر، می‌بایست مدتی در انتظار بماند که دوباره همان ستاره را در همان ارتفاع قبلی مشاهده کند. لذا بعلت طول مدت رصد، روشهای مناسب دیگر، بکار گرفته می‌شوند.

1. Vertical Plane




شکل (۲-۴۰) — تعیین امتداد نصف‌النهار با رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر

## ۱۴. تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستارهٔ دَورِ قطبی[1] در وضعیت دورترین فاصله[2] از نصف‌النهار سماوی مکان

یک ستارهٔ دَورِقطبی، همیشه بالای افق است و بنابراین هیچوقت غروب نمی‌کند و مطابق شکل (۲-۴۱) ظاهراً مسیری دایره‌ای را به دَورِقطب سماوی طی می‌کند. چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود، ستارهٔ M در وضعیت‌های $M_1$ و $M_2$ دارای بیشترین فاصله از نصف‌النهار ناظر است. در حقیقت دایره‌های عمودی[3] ستاره، در وضعیت‌های $M_1$ و $M_2$ با صفحهٔ نصف‌النهار ناظر، بیشترین زاویه را می‌سازند. از این دو وضعیت خاص یکی در طرف مشرق[4] و دیگری در طرف مغرب[5] نصف‌النهار صورت می‌گیرد.

1. Circumpolar Star 2. Star at Elongation 3. Vertical Circles
4. Eastern Elongation 5. Western Elongation

**شکل (۲-۴۱) — تعیین امتداد نصف‌النهار سماوی با رصد یک ستاره در دورترین فاصله از نصف‌النهار**

در این روش، می‌بایست عرض جغرافیایی محل رصد معلوم باشد. سپس یک ستارهٔ مناسب انتخاب گردد و از روی جدول نجومی میل ستاره تعیین شود. سپس با استفاده از فرمولهای مثلث نجومی[1]، سمت ستاره در وضعیت دورترین فاصله از نصف‌النهار ناظر، محاسبه شود. البته زمانی که ستاره در هر یک از دو وضعیت مذکور قرار می‌گیرد، محاسبهٔ آن بسادگی، با استفاده از فرمولهای مربوط قابل انجام است. بنابراین در لحظه‌ای که ستاره در وضعیت دورترین فاصله قرار می‌گیرد، سمت آن معلوم بوده، در نتیجه با رصد ستاره در این وضعیت، امتداد نصف‌النهار سماوی معلوم می‌گردد.

این روش گرچه بسیار دقیق و مناسب است، امّا معایبی هم دربردارد که اهم آنها بقرار زیر است:

۱. تعداد ستارگان مناسب برای رصد در این روش محدودند.
۲. زمان رصد ستاره در لحظهٔ بیشترین فاصله، می‌بایست قبلا محاسبه شود.
۳. روش، برای مناطق نزدیک خط استوا مناسب نیست.

1. Astronomical Triangle

با این وجود، رصد لازم، در این روش ساده است و محاسبات مربوط نیز آسان و نتیجه کار هم دقیق می‌باشد.

## ۱۵. تعیین امتداد نصف‌النهار سماوی از راه تعیین زاویهٔ ساعتی خورشید و یا یک ستاره

در این روش، سمت خورشید و یا یک ستاره، از راه تعیین زاویهٔ ساعتی خورشید در لحظه‌ای که از سطح نصف‌النهار اصلی عبور کرده و یا در نزدیکی آن قرار می‌گیرد، بدست می‌آید. البته ارتفاع، اندازه‌گیری نمی‌شود و بنابراین خطای مربوط به‌شکست نور در اتمسفر زمین، وجود نخواهد داشت. برای انجام کار، به‌یک کرونومتر دقیق با میزان خطای معلوم، نیاز می‌باشد. بنابراین قبلا می‌بایست میزان خطای کرونومتر از راه مشاهدات نجومی تعیین شده باشد. لحظهٔ دقیق رصد، توسط کرونومتر تعیین شده، سپس بُعد[1] ستاره و یا خورشید از جدول نجومی تعیین و با استفاده از رابطه‌های مربوط، زاویهٔ ساعتی لحظهٔ رصد محاسبه می‌شود. سپس با معلوم بودن عرض جغرافیایی محل، میل خورشید و یا ستاره و زاویهٔ ساعتی، سمت خورشید و یا ستاره، محاسبه شده و بنابراین امتداد نصف‌النهار سماوی، بدست می‌آید.

این روش، گرچه آسان است و نتایج خوبی بدست می‌دهد، امّا خطای کرونومتر، می‌بایست قبلا طی یک مشاهدهٔ نجومی دیگری معلوم شده باشد.

## ۱۶. تعیین امتداد نصف‌النهار سماوی از راه رصد ستارهٔ قطبی و یا یک ستارهٔ نزدیک به‌قطب[2]

دقیق‌ترین روش تعیین امتداد نصف‌النهار سماوی از راه رصد یک ستارهٔ نزدیک به‌قطب و محاسبهٔ سمت آن، صورت می‌گیرد. زمان دقیق هر رصد بوسیلهٔ کرونومتر تعیین شده، سپس زاویهٔ ساعتی ستاره محاسبه می‌شود. آنگاه سمت ستاره از راه فرمولهای مثلث نجومی محاسبه می‌گردد. سمت ستاره‌های نزدیک قطب در حین رصد بمیزان بسیار کمی تغییر می‌کند و بنابراین خطای ناشی از اندازه‌گیری زمان، اثر کمی در سمتِ محاسبه شده، دارد. انتخاب ستارگان نزدیک قطب فقط برای کارهای دقیق صورت می‌گیرد.

ازآنجایی که ستارهٔ قطبی ($\alpha$ (آلفا) ـ دب اصغر) روشنترین ستارهٔ نزدیک به‌قطب

1. Right Ascension
2. Close Circumpolar Star

است، لذا این ستاره بر ستارگان دیگر ارجحیت دارد. ستارهٔ قطبی، به‌قطب شمال سماوی بسیار نزدیک بوده، فاصلهٔ قطبی آن در حدود یک درجه و ۱۰ دقیقه است. مزیت این ستاره در این است که بعلت روشنتر بودن آن، می‌توان رصد را در تاریک روشن شامگاهی[1] (فلق) به‌انجام رساند و دیگر نیازی به‌ایجاد روشنایی برای کار با ابزار نجومی نمی باشد.

در مقایسه با روش داده شده در مطلب شمارهٔ (۱۴) در این فصل، این روش، برتری دارد. چه، در اینجا، رصد ممکن است در هر وقتی صورت گیرد و نیازی به‌محاسبهٔ وقتِ وضعیت بیشترین فاصلهٔ ستاره و انتظار برای وقوع آن، نیست.

## ۱۷. تعیین امتداد نصف‌النهار سماوی از راه رصد خورشید و یا یک ستاره در وضعیت خارج از نصف‌النهار[2]

این روش، گرچه بسیار مناسب است امّا در کارهای بسیار دقیق، بکار گرفته نمی‌شود. در اینجا ارتفاع ستاره اندازه‌گیری شده، پس از تعیین میل ستاره و مشخص کردن عرض جغرافیایی محل، با استفاده از فرمولهای مثلث نجومی سمت آن محاسبه می‌شود. در اینجا می‌بایست ارتفاع اندازه‌گیری شده را برای خطای ناشی از شکست نور تصحیح کرد. میزان این خطا برای ستارگانی که در نزدیک افق هستند معلوم نیست و لذا می‌بایست ستاره‌ای را انتخاب کرد که ارتفاعش حداقل ۳۰ درجه باشد. همچنین رصد ستاره، باید در زمانی صورت گیرد که تغییرات ارتفاع آن زیاد و تغییرات سمت آن کم باشد. وضعیت مناسب برای رصد، در وقت عبور ستاره از سطح نصف‌النهار اصلی است، که اثر خطای ناشی شده از اندازه‌گیری ارتفاع، کمتر است.

درمورد رصد خورشید بعلت تغییرات بیشتر میل آن، می‌بایست وقت رصد نیز تعیین شده و در نتیجه، میزان دقیق میل خورشید با توجه به‌این وقت، از جدول نجومی تعیین شود. بعلاوه درمورد خورشید بعلت نزدیکی نسبی آن به‌زمین، در مقایسه با ستارگان، لازم است ارتفاع اندازه‌گیری شده را برای اختلاف منظر، نیز تصحیح کرد.

1. Twilight 2. Ex–Meridian

## ۱۸. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با وسایل ژیروسکوپی

جهت‌یابی از راه روشهای نجومی، به‌آسمانی صاف نیاز دارد که بتوان ستارگان را در آن، رصد کرد. برای حالتهایی که روشهای قبلی، امکان کاربرد نداشته باشد، می‌توان از وسیله‌ای به‌نام جهت‌یابِ ژیروسکوپی[1] استفاده کرد. اساس کار این دستگاه بر مبنای دوران یک حلقه، حول محورش، استوار است که خود محور نیز حول نقطه‌ای از آن، آزادی دوران دارد. موقعی که حلقه با سرعت زیاد حول محورش به‌چرخش درآید، محور با گردش از چپ به‌راست یک مخروط دورانی را در فضا می‌پیماید. در مکانیک، ثابت شده است که حرکت مخروطی محور، نتیجهٔ حرکت چرخشی زمین بوده و محور مخروط، بموازات محور زمین خواهد بود.

1. Gyroscopic Compass

## فصل سوّم

# جهت یابی با ساعتهای خورشیدی

در مطلب شمارهٔ (۱۲) در فصل دوّم، بطور مختصر، مطالبی درمورد کاربرد ساعتهای خورشیدی در جهت یابی، بیان شد. امّا از نظر اهمیت مطلب، شرح کاملتر آن را در این فصل ملاحظه می کنید. با توجه به‌راهنماییهای ارائه شده در این فصل، می‌توان بسادگی یک قطب نمای خورشیدی[1] ساخت. این مطلب دارای سابقهٔ تاریخی است. چه، مسلمین از ترکیب دو ساعت خورشیدی برای یافتن جهت قبله، در قرن چهاردهم استفاده کرده‌اند.

برای اینکه بتوان یک قطب نمای خورشیدی[1] ساخت، می‌بایست طرز درجه بندی صفحهٔ[2] سه نوع ساعت خورشیدی را، که براساس ارتفاع، سمت و زاویهٔ ساعتی خورشید، کار می کنند، دانست. چنانکه قبلاً گفته شد، ساعتهایی که براساس ارتفاع خورشید کار می کنند، ساعتهای خورشیدی ارتفاعی و آنهایی که براساس سمت و یا زاویهٔ ساعتی خورشید استوارند، ساعتهای خورشیدی جهتی، نامیده می‌شوند. از ترکیب دو نوع از سه نوع ساعت خورشیدی فوق‌الذکر، می‌توان قطب نمای خورشیدی ساخت. امّا برای آنکه بتوان مطلب را بصورت دقیق مورد بررسی قرار داد، در ابتدا درجه‌بندی صفحهٔ سه نوع ساعت خورشیدی برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقهٔ شمالی ($\varphi = ۳۵^\circ ۴۱' N$) محاسبه و رسم می‌شود:

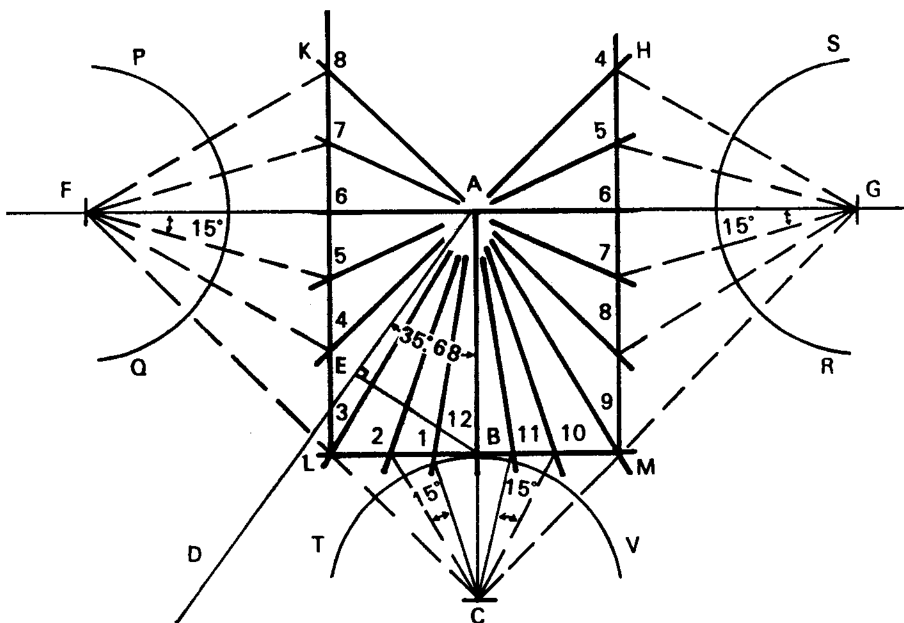
### ۱. درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی افقی[3]

ساعتهای خورشیدی افقی براساس زاویهٔ ساعتی خورشید کار می کنند. صفحهٔ

1. Solar Compass 2. Dial Plate 3. Horizontal Dial

این ساعتها به‌موازات صفحهٔ افق قرار داده می‌شوند. در شکل (۱-۳) درجه‌بندی این نوع ساعت، برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی نمایانده شده است. لبهٔ شاخص [1] این نوع ساعت خورشیدی بسوی قطب شمال سماوی قرار می‌گیرد. قاعدهٔ شاخص [2] برخط‌مربوط‌به‌ساعت‌دوازدهٔ‌ظهرخورشیدی‌منطبق است. خط‌مربوط‌به‌ساعت‌دوازدهٔ ظهر، که نشانهٔ عبور خورشید از نصف‌النهار محل است، می‌بایست دقیقاً در امتداد خط نصف‌النهار جغرافیایی محل قرار گیرد. ازتفاع زاویه‌ای لبهٔ شاخص [3] از صفحهٔ ساعت، برابر عرض جغرافیایی محل است. محل تقاطع خطوط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت به نام مرکز ساعت خورشیدی [4] موسوم است.

درجه‌بندی صفحهٔ این نوع ساعت خورشیدی به‌دو صورت ترسیمی و محاسباتی صورت می‌گیرد:




**شکل (۱-۳) — درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی افقی با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی ۳۵°/۶۸ شمالی.**

1. Style  2. Substyle  3. Height of the Style  4. Center of Dial

### ۱-۱. روش ترسیمی

مراحل درجه بندی صفحهٔ ساعت با روش ترسیمی بقرار زیر است:

۱. خط افقی FAG، که تشکیل خط ساعت ۶ صبح و ۶ بعدازظهر را می‌دهد، رسم می‌شود.

۲. در نقطهٔ A، خط AC عمود بر FAG رسم می‌گردد. این خط، تشکیل خط ساعت ۱۲ ظهر را می‌دهد.

۳. خط AD بصورتی رسم می‌شود که با خط AC زاویه‌ای برابر با عرض جغرافیایی محل بسازد ($\widehat{DAC}=۳۵°/۶۸$).

۴. از نقطه B بر روی AC، خط BE عمود بر خط AD رسم می‌گردد.

۵. طول BC برابر طول BE انتخاب شده، سپس طولهای AG و AF برابر طول AC جدا می‌گردند.

۶. از نقاط F و G خطوط FC و GC به نقطهٔ C وصل می‌شوند. سپس از نقطهٔ B خطی به‌موازات خط FG رسم می‌شود. این خط FC را در نقطهٔ L و GC را در نقطهٔ M قطع خواهد کرد. آنگاه از نقاط L و M، خطوط LK و MH به‌موازات AC رسم می‌گردند.

۷. به‌مراکز C، F و G و به‌شعاع برابر طول BC، کمانهای TV، PQ و RS رسم می‌شوند.

سپس این کمانها مطابق شکل، به‌قطعات ۱۵ درجه‌ای تقسیم می‌گردند. آنگاه از نقاط F، C و G خطوطی به نقاط بدست آمده بر روی کمانها، طوری وصل می‌شوند که خطوط KL، LM و MH را قطع کنند. در مرحلهٔ بعد، نقطهٔ A به نقاط بدست آمده بر روی خطوط KL، LM و MH وصل می‌گردند. همچنین نقطهٔ A به‌نقاط L و M نیز وصل می‌شود. خطوط بدست آمده، تشکیل درجه بندی صفحهٔ ساعت را می‌دهند.

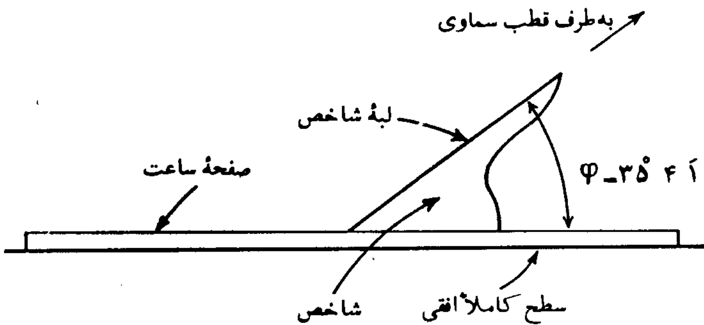
می‌توان از تقسیم کمانهای TV، PQ و RS به‌قطعات کوچکتر، در فواصل بین خطوط بدست‌آمده، خطوط مربوط به‌زمانها ی کمتر از یک‌ساعت را نیز رسم کرد. چه، کمان ۱۵ درجه‌ای معادل یک ساعت و درنتیجه، کمان ۷/۵ درجه‌ای معادل نیم ساعت و الی آخر خواهد بود.

در شکل (۲-۳)، درجه‌بندی بدست‌آمده بعد از انتقال بر صفحهٔ ساعت خورشیدی، نشان داده شده است.

درشکل (۳-۳) چگونگی قرارگرفتن ساعت خورشیدی نمایانده شده، که مربوط به‌مقطع شمالی جنوبی آن است. طرز قرارگرفتن آن بدین گونه است که می‌بایست صفحهٔ

به‌طرف شمال‌جغرافیایی
N
134°.71
114°.67
65°.33
45°.29
30°.25
18°.61
8°.88
A A'
B B'
8 5 6 5 4
4 5 6 7 8 9
2 1 12 12 11 .0

شکل (۲-۳) — چگونگی قرار گرفتن درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی افقی.




شکل (۳-۳) — چگونگی قرار گرفتن ساعت خورشیدی افقی بر یک سطح ترازشده.

ساعت، کاملا بصورت افقی بوده و امتداد لبهٔ شاخص بسمت قطب شمال سماوی باشد، در اینصورت خط ساعت ۱۲ بر صفحهٔ ساعت، در امتداد خط نصف‌النهار محل قرار خواهد داشت.

این ساعت، وقت شمسی حقیقی را در تمام طول سال، از طلوع تا غروب آفتاب (در عرض جغرافیایی مربوط به‌آن) نشان می‌دهد. بعداً در همین بخش، درمورد چگونگی استفاده از این ساعت در عرضهای جغرافیایی دیگر، توضیح داده خواهد شد.

### ۲-۱. روش محاسباتی

می‌توان درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی افقی را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\tan X = \sin\varphi \tan h \qquad (۱-۳)$$

که درآن

X = فاصلهٔ زاویه‌ای درجات صفحهٔ ساعت از قاعدهٔ شاخص.

$\varphi$ = عرض جغرافیایی محل استقرار ساعت.

h = زاویهٔ ساعتی خورشید برحسب درجه.

قبلا درمورد زاویهٔ ساعتی خورشید و ارتباط آن با وقت شمسی حقیقی، درمطلب شمارهٔ (۹) در فصل دوّم توضیح داده شده است. مقادیر زاویهٔ X برای عرض جغرافیایی ´۴۱ °۳۵ از روی فرمول فوق، محاسبه شده و نتایج آن، در جدول (۱-۳) داده شده است. ادامهٔ کار، ساده خواهد بود، چه، با استفاده از یک نقّاله، خطوط ساعت، بسهولت قابل رسم است. البته برای کار دقیقتر، می‌توان بجای نقاله از مقادیر tan X استفاده کرد. کافی است که مقادیر تانژانت را بر روی خط عمود بر قاعده شاخص، جدا کرده، نقطهٔ بدست آمده را به‌مرکز درجه‌بندی صفحهٔ ساعت وصل کنیم. این، درصورتی است که مقدار زاویهٔ X کمتر از ۴۵ درجه باشد. برای بقادیر X بزرگتر از ۴۵ درجه، کتانژانت زاویهٔ X بر روی خط عمود بر خط ساعت ۶ صفحهٔ ساعت، جدا می‌شود.

لازم است اشاره شود که فرمول (۱-۳) با فرض ثابت بودن اندازهٔ میل خورشید در طول روز، بدست آمده است، بعبارت دیگر از تغییرات کم میل خورشید در طول روز صرفنظر شده است. علاوه بر این مطلب، سه نکتهٔ مهمّ دیگر در ارتباط با این نوع ساعت خورشیدی، در ذیل، بیان می‌گردد.

نکتهٔ اوّل اینکه، وقتی که درجه‌بندی بدست‌آمده (چه از روش ترسیمی و چه از

**جدول (۱-۳) — فاصلهٔ زاویه‌ای خطوط درجه بندی صفحهٔ ساعت از قاعده شاخص برای عرض جغرافیای ۴۱°۳۵**

| وقت شمسی حقیقی | | زاویهٔ x برحسب درجه | وقت شمسی حقیقی | |
|---|---|---|---|---|
| | — | ۰ | ظهر خورشیدی | ۱۲/— |
| صبح | ۱۱/— | ۸°/۸۸ | بعدازظهر | ۱/— |
| » | ۱۰/— | ۱۸°/۶۱ | » | ۲/— |
| » | ۹/— | ۳۰°/۲۵ | » | ۳/— |
| » | ۸/— | ۴۵°/۲۹ | » | ۴/— |
| » | ۷/— | ۶۵°/۳۳ | » | ۵/— |
| » | ۶/— | ۹۰°/— | » | ۶/— |
| » | ۵/— | ۱۱۴°/۶۷ | » | ۷/— |
| » | ۴/— | ۱۳۴°/۷۱ | » | ۸/— |

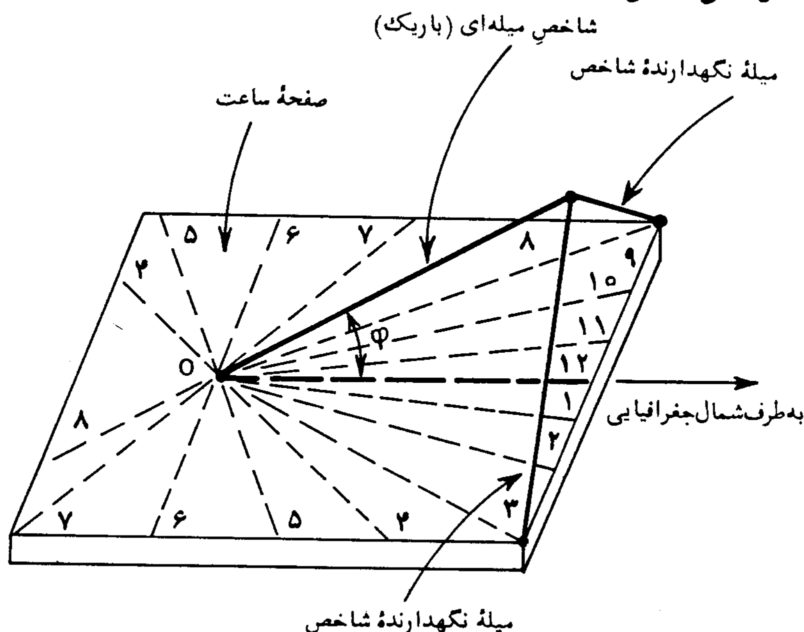
روش محاسباتی) بر صفحهٔ ساعت منتقل می‌گردد، می‌بایست ضخامت شاخص درنظر گرفته شود. این مطلب درمورد انواع مختلف ساعتهای خورشیدی مصداق دارد. برای فهم این مطلب، در شکل (۲-۳) ضخامت شاخص بصورت اغراق‌آمیزی نشان داده شده است، بدین صورت که BB′ و AA′ نمایانگر ضخامت شاخص‌اند. همچنین باید توجه داشت که خطوط مربوط به‌ساعتهای ۷ و ۸ بعدازظهر در همان امتداد خطوط ساعتهای ۷ و ۸ صبح اند و درمورد ساعتهای ۴ و ۵ صبح نیز وضع به همین منوال است. چه، در این صورت است که شکل (۲-۳) ازنظر امتداد خطوط ساعت با شکل (۱-۳) هماهنگی خواهد داشت.

نکتهٔ دوّم اینکه، دراساس این نوع ساعتها، فرض براینست که شاخص بصورت میله‌ای خیلی باریک باشد که سایهٔ آن در لحظهٔ انطباق آن با مرکز خورشید بر روی صفحهٔ ساعت بیفتد. امّا در اغلب موارد، همچنانکه درشکل (۳-۳) نمایانده شده، از یک صفحه، بعنوان شاخص استفاده شده و سایهٔ لبهٔ آن بر روی صفحهٔ ساعت می‌افتد. در این صورت حدّ سایه، مربوط به‌نور قسمت کناری قرص خورشید بوده و به‌مرکز خورشید مربوط نمی‌باشد. درنتیجه، در ساعات قبل از ظهر، سایه باندازهٔ یک دقیقه

وقت را کمتر و در ساعات بعدازظهر باندازهٔ یک دقیقه جلوتر نشان خواهد داد. توضیح این مطلب ساده است چه، قرص خورشید از دید ناظر با زاویه‌ای درحدود ۳۲ دقیقه دیده می‌شود و یا بعبارت دیگر فاصلهٔ زاویه‌ای[1] قرص خورشید درحدود ۳۲ دقیقه است. بنابراین فاصلهٔ زاویه‌ای کناری‌ترین نقطهٔ قرص خورشید تا مرکز آن، درحدود ۱۶ دقیقهٔ زاویه‌ای است که چون به‌زمان تبدیل شود، همان نتیجهٔ یک دقیقه حاصل می‌گردد:

$$\left(\frac{۱۶ \times ۶۰}{۶۰ \times ۱۵} = ۱/۰۶۷ \text{ دقیقه}\right)$$

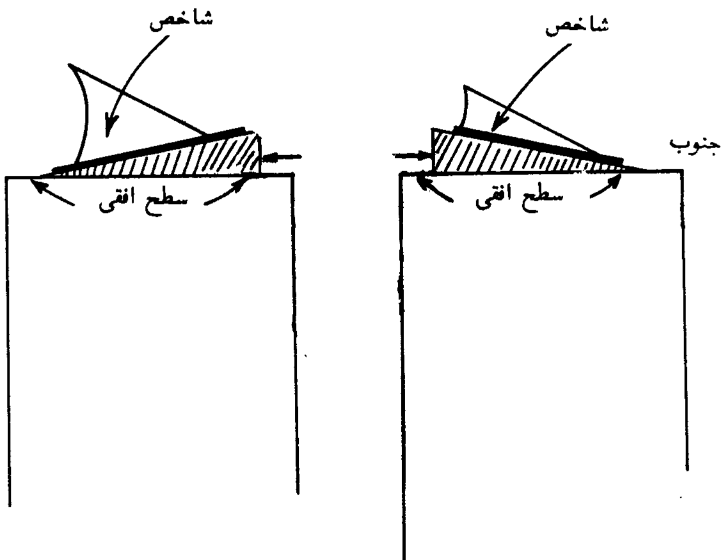
به همین دلیل، گاهی بجای اینکه شاخص را از یک صفحه مثلثی‌شکل بسازند. آن را از یک میلهٔ باریک سیم‌مانند که با صفحهٔ ساعت، زاویه‌ای برابر عرض جغرافیایی محل می‌سازد، درست می‌کنند. درچنین صورتی، شاخص میله‌ای با دو میلهٔ نگه‌دارنده مطابق شکل (۴-۳)، درجای خود محکم نگهداشته می‌شود. این نوع شاخص را شاخص سیمی[2] نیز می‌نامند.




**شکل (۴-۳)ـ شمای ساعت خورشیدی افقی با شاخص میله‌ای (باریک). میلهٔ OP با صفحهٔ ساعت، زاویه‌ای برابر عرض جغرافیایی محل (φ) می‌سازد.**

1. Angular Distance 2. Wire Style

نکتهٔ سوّم اینکه، قبلا اشاره شد که چون صفحهٔ این‌گونه ساعتها بصورت افقی قرار داده می‌شوند، آنها را ساعتهای خورشیدی افقی می‌نامند. اگر قرار باشد که صفحهٔ این ساعتها فقط بحالت افقی باشد، در این صورت تنها، در عرض جغرافیایی مربوط مورد استفاده دارند. امّا می‌توان با شیب دادن صفحهٔ یک ساعت خورشیدی افقی، آن را در عرض جغرافیایی دیگری نیز بکار برد. این مطلب در شکل (۵-۳) نشان داده شده است. کافی است که صفحهٔ ساعت را باندازهٔ تفاوت عرض جغرافیایی محل جدید و عرض جغرافیایی محلی که ساعت برای آن ساخته شده، شیب بدهیم. در این شکل، ناظر در سمت غربی ساعت قرار گرفته و ساعت خورشیدی دست چپ شکل، برای محلی با عرض جغرافیایی کمتر، بکار گرفته شده و لذا صفحهٔ آن باندازهٔ تفاوت عرضهای جغرافیایی به‌سمت شمال، شیب داده شده، درحالیکه ساعت خورشیدی دست راستی، در محلی با عرض جغرافیایی بیشتر، مورد استفاده قرار گرفته است و لذا صفحهٔ آن باز باندازهٔ تفاوت عرضهای جغرافیایی، توسط گُوه[1] به‌سمت جنوب، شیب داده شده است.




**شکل (۵-۳)—بکاربردن ساعت خورشیدی افقی در عرض جغرافیایی متفاوت. ساعت دست‌راستی در عرض جغرافیایی بیشتر و سمت‌چپی در عرض جغرافیایی کمتر بکار گرفته شده است. در هردو صورت اندازهٔ شیب صفحهٔ ساعتها برابر تفاوت عرضهای جغرافیایی است.**

1. Wedge

در هردو صورت با شیب‌دار نمودن صفحهٔ ساعت، لبهٔ شاخص، در امتداد قطب سماوی قرار گرفته و زاویهٔ آن با سطح افق محل، برابر عرض جغرافیایی آن شده است، و یا بعبارت دیگر لبهٔ شاخص به‌موازات محور زمین قرار گرفته است.

## ۲. درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی از نوع سمتی افقی[1]

چنانچه از اسم این نوع ساعت خورشیدی برمی‌آید، اساس کار آن بر سمت خورشید استوار بوده، صفحهٔ آن طوری بحالت افقی قرار می‌گیرد که خط ساعت ۱۲ در امتداد نصف‌النهار محل قرار داشته باشد. شاخص آن از یک میلهٔ قائم تشکیل شده است. درجه‌بندی این ساعت، با استفاده از تاریخ قرارگرفتن خورشید در برجهای[2] دوازده‌گانهٔ منطقةالبروج[3] بدست می‌آید. در شکل (۶ـ۳) درجه‌بندی این ساعت برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه نشان داده شده است. این درجه‌بندی درطی مراحل ذیل بدست آمده است:

۱. خط عمودی PB بر صفحهٔ ساعت رسم شده است.

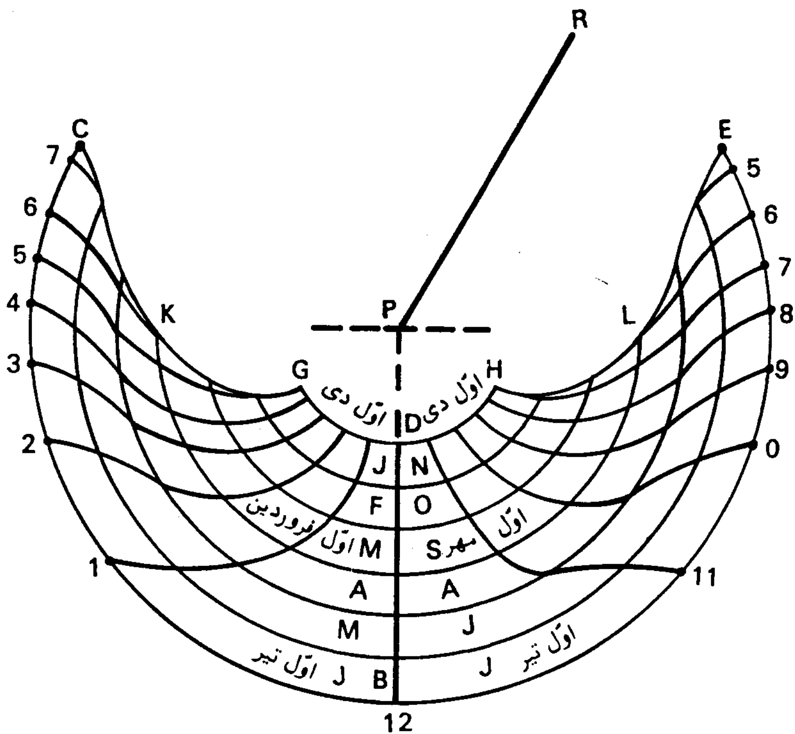
۲. کمان CBE به‌مرکز P و شعاع PB رسم شده است. این کمان، نمایانگر ورود خورشید در برج سرطان[4] و یا نقطهٔ انقلاب تابستانی[5] در روز اوّل تابستان (اوّل تیرماه و یا بیست‌ویکم ماه ژوئن) است.

۳. نقطهٔ D بر روی خط PB طوری مشخص شده است که فاصلهٔ PD تقریباً برابر یک‌سوم طول PB است.

۴. کمان GDH به‌مرکز P و شعاع PD رسم شده است. این کمان نمایانگر ورود خورشید در نقطهٔ انقلاب زمستانی[6] در روز اوّل زمستان (اوّل دی‌ماه و یا بیست‌و‌دوّم ماه دسامبر) است.

۵. فاصلهٔ DB به‌شش قسمت برابر تقسیم شده است. سپس به‌مرکز P تعدادی کمان متحدالمرکز طوری رسم شده‌اند که از نقاط بدست‌آمده عبور کنند. این کمانها نمایانگر ورود خورشید در سایر برجهاست. کمان وسطی KL نمایانگر ورود خورشید در نقطهٔ اعتدال بهاری[7] در اوّل بهار (اوّل فروردین‌ماه و یا بیست‌ویکم ماه مارس) و نقطهٔ اعتدال پاییزی[8] در اوّل پاییز (اوّل مهرماه و یا بیست‌وسوم ماه سپتامبر) است.

1. Horizontal–Azimuth Dial 2. Signs 3. Zodiac
4. Sign of Cancer 5. Summer Solstice 6. Winter Solstice
7. Vernal Equinox 8. Autumnal Equinox




**شکل (۶-۳)—چگونگی درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی از نوع سمتی افقی برای عرض جغرافیایی °۳۵ و ′۴۱.**

۶. سپس با استفاده از فرمولهای (۱-۲) و (۲-۲)، که در فصل دوم داده شده، سمت خورشید برای ساعتهای صبح و یا بعدازظهر، روز اوّل تیرماه، محاسبه شده است. آنگاه زوایای سمت بدست‌آمده، با استفاده از یک نقاله و به‌مرکز P ، بر ضلع PB ، بعنوان یک ضلع زاویه، رسم گشته است. اضلاع دوّم زوایای رسم شده، کمان CBE را در نقاط نشان داده شده قطع می کنند. این نقاط، نشان دهندهٔ ساعات صبح و بعدازظهر در روز اوّل تیرماه است. با فرض ثابت بودن میل خورشید در طول روز، نقاط مربوط به‌ساعات صبح و بعدازظهر، نسبت به‌خط PB دارای تقارن است. به‌همین علت محاسبهٔ سمت خورشید فقط برای ساعات صبح و یا بعدازظهر صورت می‌گیرد.

به همین طریق که برای روز اوّل تیرماه بیان شد، سمت خورشید برای دیگر تاریخهای دخول خورشید در سایر برجهای باقیمانده محاسبه، و زوایای محاسبه شده بر روی ضلع PB و به‌مرکز P، توسط نقاله، رسم شده‌اند.

بدین ترتیب نقاط مربوط به‌ساعات صبح و بعدازظهر، بر روی هفت کمان، رسم شده، —که نمایانگر بروج دوازده‌گانه هستند— مشخص شده‌اند. ممکن است کمانهای بیشتری در بین این کمانها، برای تاریخ های معین، رسم شوند که ساعات روز، بر روی آنها مشخص گردند.

در مرحلهٔ بعد نقاط مربوط به‌ساعات شبانه‌روز بر روی کمانهای متحدالمرکز، توسط یک منحنی صاف، مطابق شکل، به‌همدیگر وصل شده‌اند. خطوط منحنی بدست آمده، خطوط درجه بندی صفحهٔ این نوع ساعت خورشیدی است.

۷. در آخرین مرحله، میله‌ای باریک، بعنوان شاخص، بصورت قائم بر نقطهٔ P نصب می‌گردد.

طول میلهٔ شاخص، بستگی باندازهٔ صفحهٔ ساعت دارد. طول مناسب آن برابر فاصلهٔ نقطهٔ P تا کمان مربوط به‌اعتدال بهاره و پاییزهٔ (کمان KL) انتخاب می‌گردد. در اینصورت سایهٔ شاخص، تقریباً بین ساعت ۹ صبح و ۳ بعدازظهر به کمان بیرونی نخواهد رسید. این نقیصه درصورتی برطرف می‌شود که طول شاخص به‌نسبت ارتفاع خورشید در ساعت ۱۲ ظهر و یا یک بعدازظهر روز اوّل تیرماه انتخاب گردد. امّا در چنین حالتی، طول میلهٔ شاخص، نسبت به‌اندازه‌های صفحهٔ ساعت بسیار بلند بنظر خواهد آمد. لذا با انتخاب شاخص کوتاهتر، سایهٔ آن تا کمانهایی که سایه به‌آنها نمی‌رسد، نظراً امتداد داده می‌شود.

در موقع استفاده از ساعت، صفحهٔ ساعت طوری بصورت افقی قرار داده می‌شود که میلهٔ شاخص در طرف جنوب و خط ساعت ۱۲ صفحهٔ ساعت در امتداد خط نصف‌النهار محل باشد. در اینحالت محل برخورد سایهٔ شاخص با کمان مربوط بتاریخ روز، وقت را مشخص خواهد کرد. در بسیاری از صفحات این نوع ساعت، فواصل بین کمانهای مربوط بتاریخ، به‌سه قسمت برابر تقسیم می‌شوند. در چنین صورتی مشخص کردن تاریخ، بر صفحهٔ ساعت، آسانتر خواهد بود. معمولا کمانهای بدست آمده، بوسیلهٔ خطوط خط‌چین مشخص می‌شوند. حتی ممکن است برای مشخص کردن خطوط اصلی و فرعی، از دو رنگ مختلف استفاده کرد.

## ۳. تعیین نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی با مرکز متغیر[1]

درساعت خورشیدی با مرکز متغیر، چنانکه از اسم آن پیداست، از شاخصی که محل آن را با توجه به تاریخ روز می‌بایست تغییر داد، استفاده می‌شود. اساس کار این نوع ساعت خورشیدی بر سمت خورشید استوار است.

دوگونه ساعت خورشیدی از این نوع وجود دارد: یکی ساعت خورشیدی آنالماتیک[2] و دیگری ساعت خورشیدی لامبرت[3] که از نام سازنده‌اش[4] که آن را در سال ۱۷۷۷ ساخته، گرفته شده است. در ادامهٔ مطلب چگونگی تعیین نقاط درجه بندی این ساعتها خواهد آمد.

### ۱-۳. تعیین نقاط درجه بندی ساعت خورشیدی آنالماتیک

نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک به‌دو صورت ترسیمی و محاسباتی بدست می‌آیند:

#### ۱-۱-۳. روش ترسیمی

در شکل (۷-۳)، نقاط مربوط به‌ساعتهای مختلف روز بر روی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک برای عرض جغرافیایی °۳۵ و ′۴۱ نشان داده شده است. این نقاط، درطی مراحل زیر بدست آمده است:

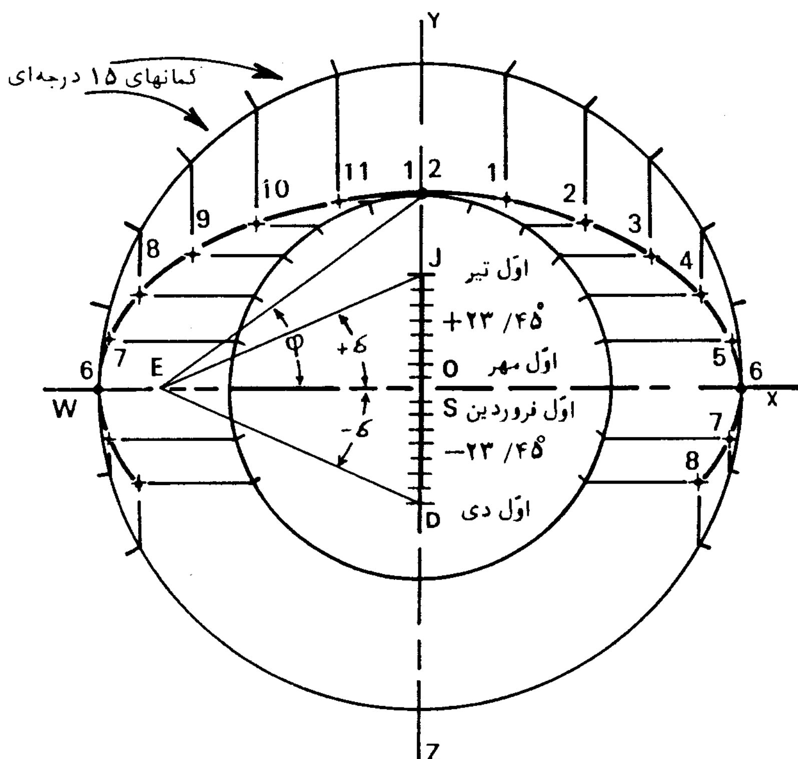
۱. محور افقی WX رسم شده و محور YZ در نقطهٔ O عمود بر آن کشیده شده است. YZ نمایانگر خط ساعت ۱۲ صفحهٔ ساعت و یا خط نصف‌النهار، و WX نمایانگر خط ساعت ۶ است.

۲. از نقطه‌ای مانند E بر روی WX، خطی مستقیم چنان رسم شده که با WX زاویه‌ای برابر عرض جغرافیایی محل (°۳۵ /۶۸) بسازد. این خط YZ را در نقطهٔ مربوط به‌ساعت ۱۲ ظهر خورشیدی قطع کرده است.

۳. دو دایره، یکی به‌مرکز O و شعاع O–12، و دیگری به‌مرکز O و شعاع E–12 رسم شده است.

۴. مطابق آنچه که در شکل نشان داده شده، دو نیمدایرهٔ بالایی دو دایره،

1. Variable Center Dial
2. Analemmatic Dial
3. Lambert Dial
4. M. Lambert




**شکل (۳-۷) — تعیین نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک با طریقهٔ ترسیمی، برای عرض جغرافیایی ′۴۱ °۳۵ = φ.**

به کمانهای ۱۵ درجه، تقسیم شده‌اند.

۵. از نقاط بدست‌آمده بر روی دایرهٔ بیرونی، خطوطی به‌موازات محور YZ رسم شده و همچنین از نقاط بدست آمده، بر روی دایرهٔ درونی، خطوطی به‌موازات محور WX کشیده شده است که محل برخورد دو دسته خطوط موازی رسم شده نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت است. اگر این نقاط توسط منحنی صافی بهم وصل شوند، تشکیل یک بیضی را می‌دهند. ساعات روز مطابق آنچه که در شکل، نمایانده شده است، در مقابل نقاط بدست آمده ثبت شده است.

۶. با کمک یک نقاله و به‌مرکز E زوایایی برابر میل خورشید در روزهای

مختلف، بر روی خط WX — بعنوان یک ضلع زوایا — رسم شده است. اضلاع دوّم زوایا، محور YZ را در نقاط نشان داده شده، قطع کرده‌اند. این نقاط، محل استقرار شاخص در روزهای مختلف را مشخص می کنند. چنانکه در شکل، نمایانده شده، مقادیر مثبت میل خورشید بین نقاط O و 12 و مقادیر منفی آن بین O و Z تعیین شده است. نقطه J نمایانگر نقطهٔ انقلاب تابستانی و نقطهٔ D، نقطهٔ انقلاب زمستانی است. نقاط M و S که بر نقطهٔ O منطبق‌اند نمایانگر نقاط اعتدال بهاره و پاییزه هستند.

۷. در مرحلهٔ آخر با انتخاب شاخص، ساعت خورشیدی آنالماتیک تکمیل خواهد شد. شاخص این ساعت، از میله‌ای نازک انتخاب می‌گردد. این میله باید طوری باشد که بتوان آن را در نقاط مشخص شدهٔ فوق بحالت قائم مستقر ساخت. کافی است که در محل آن نقاط، سوراخهایی بصورت قائم تعبیه کرد که با در نظر گرفتن تاریخ روز مورد نظر، شاخص را بصورت قائم در سوراخ مربوط قرار داد. همچنین می‌توان در طراحی بهتر آن، شاخص را بر روی محور YZ بصورت کشویی (مانند یک خط کش محاسبه) مطابق تاریخ روز تغییر مکان داد.

طرز استقرار صفحهٔ این ساعت، بهنگام استفاده، بدین صورت است که صفحهٔ آن را بصورت افقی طوری قرار می‌دهیم که خط O–12 در امتداد خط نصف‌النهار محل بوده و نقطهٔ 12 بطرف شمال جغرافیایی باشد. سپس شاخص در محل مربوط به تاریخ روز، بر روی خطوط OJ و یا OD قرار داده می‌شود. محل تقاطع امتداد سایه، بر بیضی رسم شده، وقت را نشان خواهد داد. باید توجه داشت که وقف فقط بر روی بیضی نشان داده می‌شود.

### ۲-۱-۳. روش محاسبه

محل دقیق نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک را می‌توان از راه محاسبه، با توجه به‌شکل (۸-۳) بدست آورد. پارامترهای نشان داده شده در این شکل بقرار زیر است:

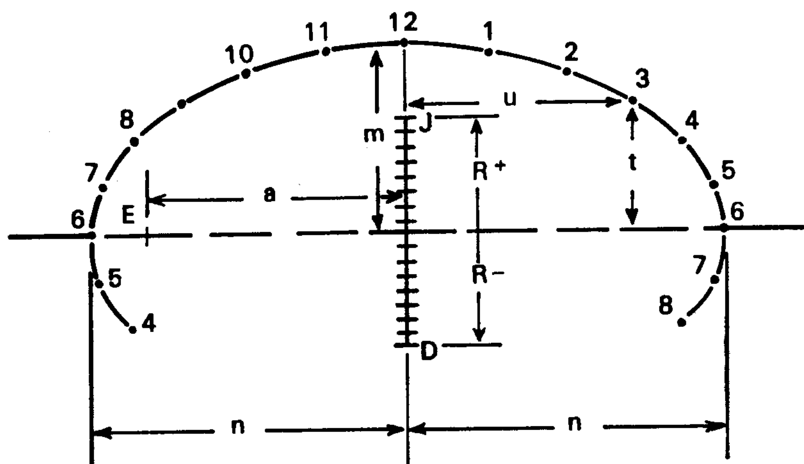
n = نصف قطر اطول بیضی

m = نصف قطر اقصر بیضی

a = فاصلهٔ خارج از مرکز[1] بیضی

R+ و R− = فاصلهٔ محل استقرار شاخص از نقطهٔ O.

1. Eccentric




شکل (۸ـ۳) — تعیین نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک با طریقهٔ محاسباتی.

h = زاویهٔ ساعتی خورشید برحسب درجه

$\varphi$ = عرض جغرافیایی

$\delta$ = میل خورشید.

اگر مقدار n معلوم باشد، رابطهٔ زیر را خواهیم داشت:

$$a = n\cos\varphi \tag{۳ـ۲}$$

اگر مقدار a معلوم باشد:

$$n = \frac{a}{\cos\varphi} \tag{۳ـ۳}$$

و یا

$$n = a\sec\varphi \tag{۳ـ۴}$$

$$m = a\tan\varphi \tag{۳ـ۵}$$

برای محاسبهٔ محل نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت، پارامترهای u و t را بشرح زیر مطابق شکل، درنظر می‌گیریم. u = فاصلهٔ شرقی و یا غربی نقطهٔ درجه بندی از خط نصف‌النهار صفحهٔ ساعت (DOJ−12)، t = فاصلهٔ شمالی و یا جنوبی نقطهٔ درجه بندی صفحهٔ ساعت از خط ساعت ۶ (6−O−6). درنتیجه رابطهٔ زیر را خواهیم داشت:

$$u = a\sec\varphi\sin h \tag{۳ـ۶}$$

و با توجه به رابطهٔ (۳ـ۴) فوق، خواهیم داشت:

$$u = n\sin h \qquad (۳\text{-}۷)$$

$$t = a\tan\varphi\cos h \qquad (۳\text{-}۸)$$

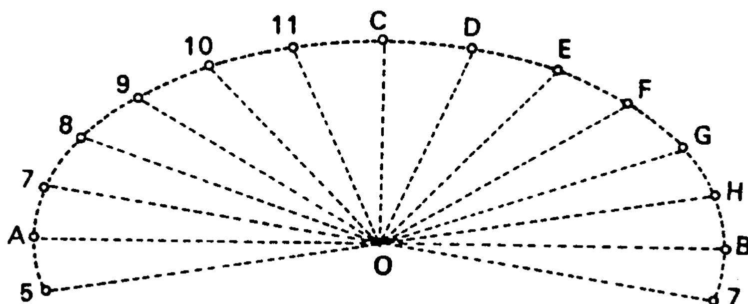
و با توجه به رابطهٔ (۳-۵):

$$t = m\cos h \qquad (۳\text{-}۹)$$

بنابراین با معلوم بودن پارامترهای t و u ، محل دقیق نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت، محاسبه، می‌گردد.

علاوه‌براین روش، که از راه محاسبهٔ پارامترهای t و u صورت می‌گیرد، می‌توان نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت را با محاسبهٔ زوایای مرکزی ایجاد شده در نقطهٔ o ، که از اتصال نقاط درجه بندی بر روی بیضی، به‌این نقطه ایجاد می‌گردند، تعیین کرد.

برای این کار، ابتدا یک بیضی با ابعاد دلخواه با یکی از روشهایی که در بخش بعدی خواهد آمد، رسم می‌کنیم. سپس محل نقاط درجه‌بندی را با محاسبهٔ زوایای مرکزی بدست می‌آوریم. مراحل کار با توجه به‌شکل (۳-۹)، به‌شرح زیر است:




شکل (۳-۹) — تعیین نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک با محاسبه زوایای مرکزی برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱′.

۱. در یک بیضی با قطر اطول ۲n و قطر اقصر ۲m خواهیم داشت:

$$m = n\sin\varphi \qquad (۳\text{-}۱۰)$$

چون در مثال، ۳۵° /۶۸ = φ پس:

$$m = ۰/۵۸۳n$$

بنابراین در شکل (۳-۹) طول OC برابر OB ۰/۵۸۳ است.

۲. مقادیر زوایای مرکزی (ω) از فرمول زیر محاسبه می‌شوند:

$$\tan\omega = \frac{\tan h}{\sin\varphi} \qquad (۳-۱۱)$$

مقادیر محاسبه شده برای مثال مورد نظر در جدول شمارهٔ (۲-۳) داده شده است.

۳. سپس از نقطهٔ تقاطع دو قطر بیضی در نقطهٔ O، زوایای محاسبه شده را با کمک یک نقاله بصورتی جدا می‌کنیم که همهٔ زوایا، در ضلع CO مشترک باشند. اضلاع دوّم این زوایا، بیضی را در نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت، قطع خواهند کرد. بدین ترتیب که زاویهٔ $\widehat{COD} = ۲۴°/۷$ و نقطهٔ D مربوط به‌ساعت یک بعدازظهر؛ و زاویهٔ $\widehat{COE} = ۴۴°/۷$ و نقطهٔ E مربوط به‌ساعت دو بعدازظهر و الی آخر خواهد بود. زوایای جداشده در طرف دیگر خط CO مربوط به‌نقاط درجه‌بندی ساعات قبل از ظهر است. البته بر صفحهٔ ساعت، نیازی به‌نشان دادن خطوط OC، OD، OE و غیره نیست و در این شکل فقط برای روشنتر شدن موضوع، آمده‌اند. بعبارت دیگر برخلاف درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی افقی، در صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک خطوط درجه بندی وجود نداشته و فقط نقاط درجه بندی بر روی محیط بیضی، مشخص می‌شوند.

**جدول (۲-۳) — زوایای مرکزی نقاط درجه بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک برای عرض جغرافیایی °۳۵ و ۴۱**

| ω برحسب درجه | زاویهٔ ساعتی خورشید برحسب درجه | ساعت خورشیدی حقیقی بعدازظهر | | قبل ازظهر |
|---|---|---|---|---|
| ۲۴°/۷ | °۱۵ | ۱ | یا | ۱۱ |
| ۴۴°/۷ | °۳۰ | ۲ | » | ۱۰ |
| ۵۹°/۷ | °۴۵ | ۳ | » | ۹ |
| ۷۱°/۴ | °۶۰ | ۴ | » | ۸ |
| ۸۱°/۱ | °۷۵ | ۵ | » | ۷ |
| ۹۰°/— | °۹۰ | ۶ | » | ۶ |

برای محاسبهٔ محل استقرار شاخص، یعنی پارامترهای (R+) و (R−)، از

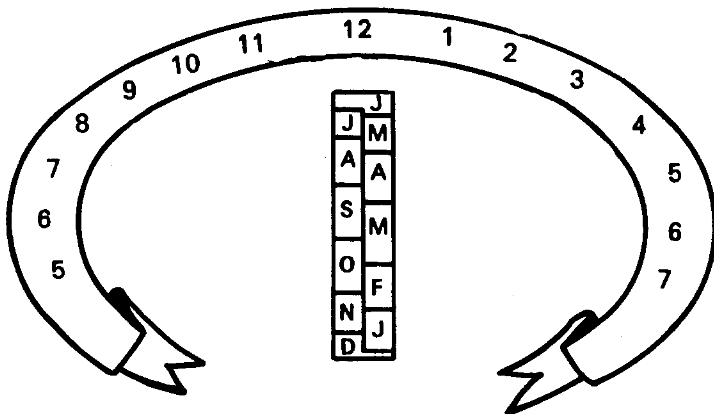
فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$R\pm = a\tan\delta \qquad (۳-۱۲)$$

که مقادیر میل خورشید را می‌توان از جدول (۱-۶) برای روزهای مختلف سال بدست آورد. صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک در فرم نهایی آن، بصورت شکل (۳-۱۰) می‌باشد.

### ۳-۱-۳. طریقهٔ رسم بیضی

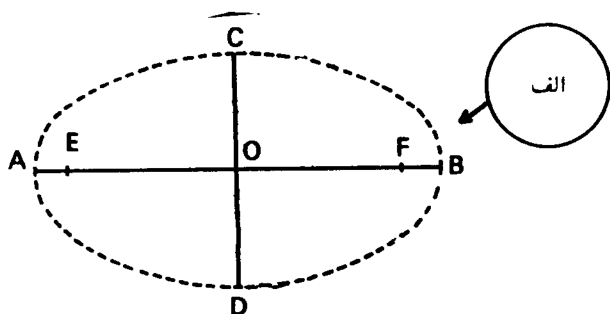
در بخش قبلی دیدیم که برای بدست آوردن نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک، به‌ترسیم بیضی، نیاز می‌باشد. بیضی را می‌توان با یکی از طرق زیر، رسم کرد:

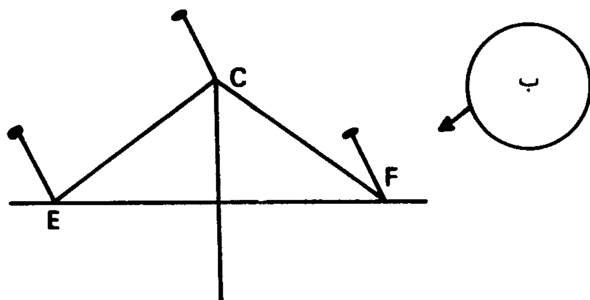


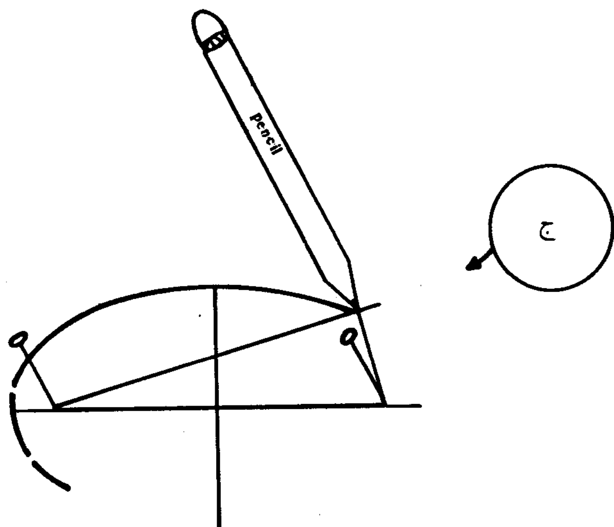

شکل (۳-۱۰) — صفحهٔ ساعت خورشیدی آنالماتیک در فرم نهایی آن.

۱. می‌توان آن را مطابق شکل (۳-۱۱) به‌شرح زیر رسم کرد: در این شکل، در قسمت (الف)، AB و CD دو قطر بیضی هستند که همدیگر را در نقطهٔ O قطع کرده‌اند. به‌مرکز C و شعاع OA (نصف قطر اطول بیضی) کمانی رسم می‌کنیم تا قطر AB را در دو نقطهٔ E و F قطع کند. نقاط E و F کانونهای بیضی می‌باشند.

سپس مطابق شکل، در قسمت (ب)، سه عدد سنجاق، بصورت قائم در نقاط ، E و F فرو می‌نماییم. آنگاه یک حلقه نخ، بحالت کشیده، از دور سه سنجاق عبور می‌دهیم. در مرحلهٔ بعد، سنجاق مستقر در نقطهٔ C را برداشته و مطابق شکل، در قسمت



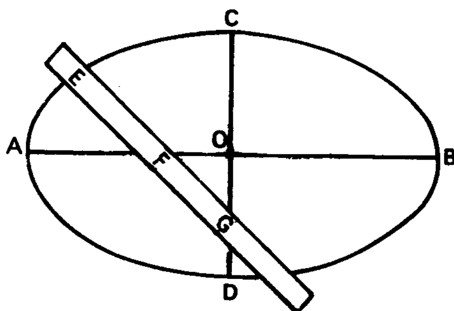




**شکل (۱۱-۳) — رسم بیضی با استفاده از حلقهٔ نخی و سنجاق.**

(ج)، یک مداد از حلقهٔ نخ عبور می‌دهیم؛ آنگاه مداد را طوری بر روی صفحهٔ کاغذ

دوران می‌دهیم، که حلقهٔ نخ همیشه بصورتِ کشیده، باقی بماند. در اینصورت نوک مداد، یک بیضی با قطرهای معلوم (AB و CD) بر صفحهٔ کاغذ خواهد کشید.

۲. بیضی را می‌توان با استفاده از وسیلهٔ ترسیم بیضیٔ کشید. این وسیله در فرم سادهٔ آن در شکل (۱۲-۳) نشان داده شده است. در این شکل AB وCD ، دو قطر بیضی هستند که همدیگر را در نقطهٔ O قطع کرده‌اند. برای رسم بیضی، از یک خط کش و یا یک نوار مقوایی صاف، می‌توان استفاده کرد. نقاط E ، F و G طوری بر لبهٔ خط کش مشخص شده‌اند که طول EG برابر نصف قطر اطول (OA) و طول EF برابر نصف قطر اقصر (OD) است. آنگاه خط کش را طوری بر روی صفحهٔ کاغذ می‌چرخانیم که نقطهٔ F همیشه بر روی قطر اطول و نقطهٔ G بر روی قطر اقصر، قرار داشته باشد. در اینصورت نقطهٔ E مسیر بیضی را خواهد پیمود.




شکل (۱۲-۳)— رسم بیضی با استفاده از وسیلهٔ رسم بیضی.

## ۲—۳. تعیین نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی لامبرت[2]

درجه‌بندی صفحهٔ این ساعت نیز به‌دو روش ترسیمی و محاسباتی ممکن است:

### ۱—۲—۳. روش ترسیمی

در شکل (۱۳-۳)، صفحهٔ مدرج شدهٔ ساعت خورشیدی لامبرت برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱′ داده شده و این شکل درطی مراحل زیر بدست آمده است:

۱. دو خط WX و YZ عمود بر هم رسم شده‌اند. محل تقاطع آنها نقطهٔ O است.

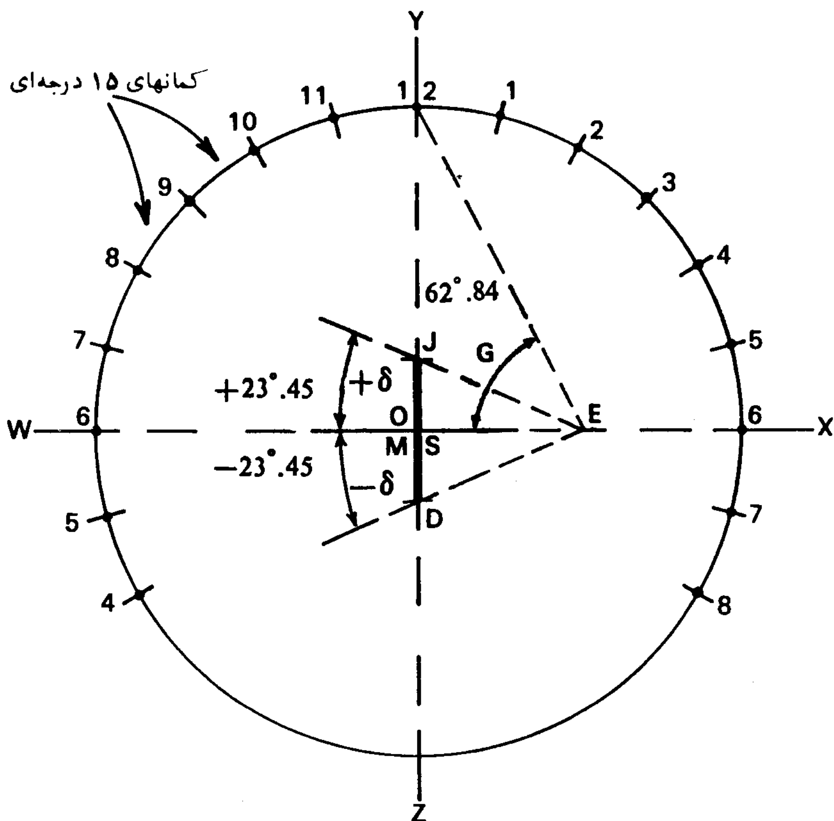
۲. از نقطهٔ مناسبی مانند E بر روی WX، خطی مستقیم چنان رسم شده که با WX

1. Trammel - 2. Lambert Dial

زاویه‌ای برابر G ساخته و خط YZ را در نقطهٔ (12) قطع کرده است. زاویهٔ G که درمورد مثالِ انتخاب شده، برابر ۸۴/ ۶۲° است، از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$G=\frac{\varphi+۹۰^{\circ}}{۲} \qquad (۳\text{-}۱۳)$$

۳. به‌مرکز O و شعاع (12—O) دایره‌ای رسم گردیده و سپس این دایره، به کمانهای ۱۵ درجه‌ای تقسیم شده است. نقاط بدست آمده، نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت است.

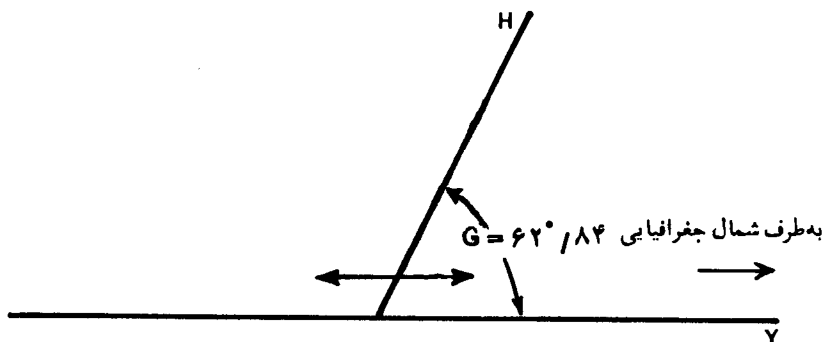



شکل (۱۳-۳)—تعیین نقاط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی لامبرت با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱´

۴. برای مشخص شدن محل نصب شاخص، زوایای میل خورشید، توسط یک

نقاله به‌مرکز E بر روی ضلع EO جدا شده‌اند. محل تقاطع اضلاع دوّم این زوایا با خط YZ، محل نصب شاخص در روزهای سال را مشخص کرده‌اند. نقطهٔ J معرف انقلاب تابستانی، نقطه D نمایانگر انقلاب زمستانی و نقاط M و S که بر نقطهٔ O منطبق‌اند، محل نصب شاخص، در اعتدال بهاره و پاییزه می‌باشند.

**۵.** در مرحلهٔ آخر با ساخت شاخص، کارساختن ساعت خورشیدی لامبرت بپایان می‌رسد. شاخص این ساعت (PH) عمودی نبوده بلکه مطابق شکل (۱۴-۳) با خط YZ (خط نصف‌النهار) زاویه‌ای برابر ۸۴/ °۶۲ = G دارد. بنابراین، بهنگام تغییر محل شاخص در روزهای مختلف، می‌بایست زاویهٔ آن با خط نصف‌النهار، همیشه ثابت بماند.




شکل (۱۴-۳) — شاخص ساعت خورشیدی لامبرت.

بهنگام استفاده از ساعت، صفحهٔ آن طوری بصورت افقی قرار می‌گیرد که خط YZ در امتداد نصف‌النهار محل قرار داشته و نقطهٔ ساعت (12) بطرف شمال جغرافیایی باشد. پایهٔ شاخص (نقطهٔ P) در محلِ مربوط بتاریخ روز قرار داده می‌شود. در نتیجه، محل برخورد سایهٔ شاخص و دایرهٔ رسم شده، وقت شمسی حقیقی را نشان خواهد داد.

### ۲ — ۲ — ۳. روش محاسباتی

با توجه به‌پارامترهای زیر، می‌توان شعاع دایره و محل استقرار شاخص را محاسبه کرد:

e = فاصلهٔ خارج ازمرکز

C = شعاع دایره (E-12)

$\varphi$ = عرض جغرافیایی محل

$\delta$ = میل خورشید

R = فاصلهٔ شمالی و یا جنوبی محل استقرار روزانهٔ شاخص بر خط YZ از خط WX.

G = زاویهٔ شاخص با خط YZ.

در نتیجه فاصلهٔ R از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R = e\tan\delta \qquad (۳\text{-}۱۴)$$

و اگر شعاع دایره را معلوم فرض کنیم:

$$e = C\tan(۹۰^\circ - G) \qquad (۳\text{-}۱۵)$$

و یا

$$e = C\cot G \qquad (۳\text{-}۱۶)$$

## ۴. درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی[1]

صفحهٔ این نوع ساعت نیز بصورت افقی است و وقت را براساس اندازه‌گیری ارتفاع خورشید تعیین می‌کند. نظربه‌اینکه ارتفاع خورشید درنزدیکیهای غروب و کمی بعدازطلوع آن، خیلی کم است، لذا دراین اوقات، نمی‌توان ازاین نوع ساعت برای‌تعیین وقت استفاده کرد. شاخص این ساعت، بصورت میله‌ای نازک است که برصفحهٔ ساعت، بصورت قائم نصب می‌گردد ومحل نوک سایه برصفحهٔ ساعت نمایانگر وقت خواهد بود. درجه‌بندی صفحهٔ این ساعت نیز به‌دوشکل ترسیمی و محاسباتی صورت می‌گیرد:

### ۱ــ۴. روش ترسیمی

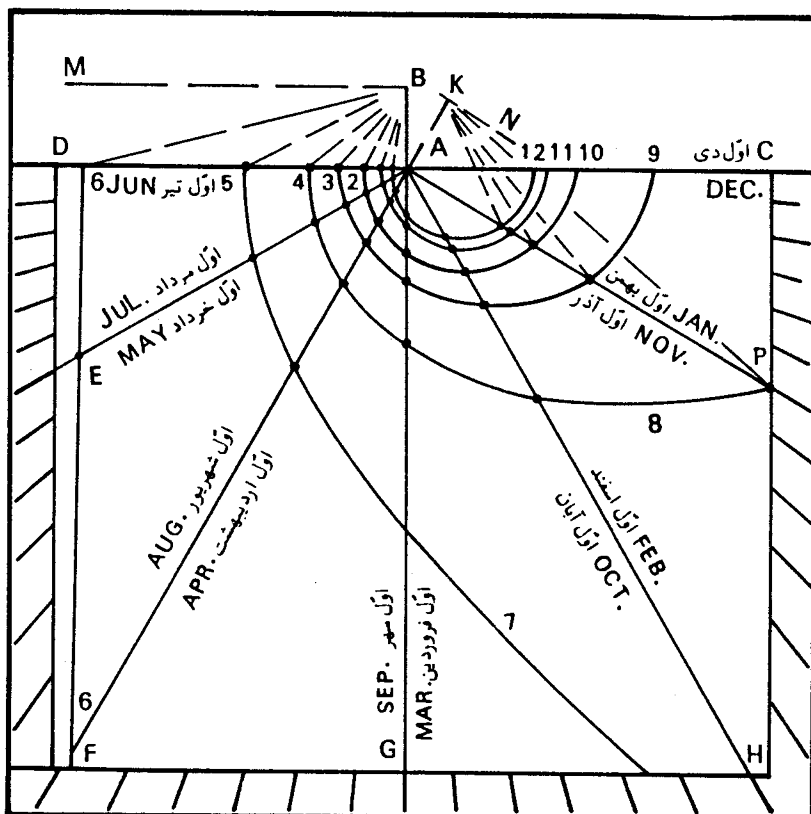
درشکل (۱۵-۳)، درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی ارتفاعی، برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱′ آمده است. این شکل، درطی مراحل زیر رسم شده است:

۱. خط افقی DC رسم شده است که نقطهٔ A بر روی آن، محل استقرار شاخص است. ارتفاع شاخص دراین مثال ۱/۵۵ سانتیمتر گرفته شده است.

۲. خط AG در نقطهٔ A عمود برDC، ترسیم گشته است.

۳. زاویهٔ ۱۸۰ درجه‌ای $\widehat{DAC}$ به‌شش زاویهٔ ۳۰ درجه‌ای تقسیم گردیده است. بدین ترتیب خطوط AE، AF، AH و AP رسم شده‌اند. این خطوط به‌همراه خطوط DAC و AC نمایانگر دخول خورشید در برجهای دوازده‌گانه است. خط AC نمایانگر

1. Horizontal Altitude Dial




**شکل (۱۵-۳) — درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱′.**

نقطهٔ انقلاب زمستانی در اوّل دی ماه (۲۲ ماه دسامبر)، AP مربوط به اوایل ماههای آذر و بهمن (۲۲ نوامبر و ۲۰ ژانویه)، AH مربوط به اوایل ماههای آبان و اسفند (۲۳ اکتبر و ۱۹ فوریه)، AG نمایانگر اعتدال پاییزه و بهاره در اوایل ماههای مهر و فروردین (۲۳ سپتامبر و ۲۱ مارس)، AF مربوط به اوایل ماههای شهریور و اردیبهشت، (۲۳ اوت و ۲۰ آوریل)، AE مربوط به اوایل ماههای مرداد و خرداد (۲۳ ژوئیه و ۲۱ مه) و بالاخره AD نمایانگر انقلاب تابستانی در اوّل تیر ماه (۲۱ ژوئن) است.

۴. خط AG تا نقطهٔ B بنحوی امتداد داده شده، که طول AB برابر طول انتخاب شدهٔ شاخص (۱/۵۵ سانتیمتر) است.

۵. خط BM به‌موازات AD رسم شده است. سپس با کمک یک نقاله و به‌مرکز B، زوایای ارتفاع خورشید، در ساعات مختلف روز اوّل تیر ماه (۲۱ ژوئن)، جدا شده‌اند. اضلاع دوّم این زوایا، خط AD را در نقاط مربوط به‌ساعات مختلف روز، مطابق شکل، قطع می‌کنند. همین عمل برای خط AC مربوط به انقلاب زمستانی در اوّل دی ماه (۲۲ دسامبر) تکرار شده است.

ارتفاع خورشید در هر ساعت روز، از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\tan a = \cot(\varphi - N)\cos A \qquad (۳\text{-}۱۷)$$

در این فرمول a نمایانگر ارتفاع خورشید برحسب درجه و پارامترهای N و A قبلا در فرمولهای (۱-۲) و (۲-۲) در فصل دوّم داده شده‌اند.

۶. خط AK با طول برابر طول شاخص (۱/۵۵ سانتیمتر) عمود بر خط AP، کشیده شده است. از نقطهٔ K خط KN به‌موازات AP ادامه داده شده، سپس همانند مرحلهٔ پنجم — مذکور در فوق — زوایای ارتفاع خورشید در ساعات مختلف روزِ تاریخ مربوط، بر روی خط KN جدا شده‌اند. محل برخورد اضلاع دوّم زوایا، با خط AP، نمایانگر ساعات مختلف همان روز است. این عمل، برای خطوط AH، AG، AF و AE تکرار گشته و نقاط مربوطه مشخص شده‌اند.

۷. در مرحلهٔ بعد، ساعات مشابه، بر روی خطوط AC، AP، AH، AG، AF، AE و AD توسط خطوط منحنی صاف، مطابق شکل، بهم وصل شده‌اند. بدین ترتیب با نوشتن تاریخهای مربوط و ساعات مختلف روز بر صفحهٔ ساعت، درجه‌بندی آن، تکمیل گشته است.

۸. در مرحلهٔ آخر یک میلهٔ نازک بعنوان شاخص و با طول معین شده (۱/۵۵ سانتیمتر) در نقطهٔ A، بر صفحهٔ ساعت، بصورت قائم نصب می‌گردد.

برای بکار بردن ساعت، صفحهٔ آن را طوری به‌طریق افقی قرار می‌دهیم که شاخص آن بطرف آفتاب بوده، سایهٔ شاخص، بر امتداد تاریخ روز بیفتد. در نتیجه، نوك سایهٔ شاخص بر روی صفحهٔ ساعت، وقت شمسی حقیقی روز را مشخص خواهد کرد.

در شکل (۱۵-۳) فقط خطوط مربوط به‌تاریخ اوّل هر ماه نشان داده شده‌اند. امّا در محیط صفحهٔ درجه‌بندی شدهٔ ساعت، فواصل بین ماههای مختلف، به‌تقسیمات ۵ درجه‌ای منقسم گشته‌اند که هر ۵ درجه تقریباً معادل ۶ روز است. با توجه به‌این درجه‌بندی، می‌توان بسادگی سایهٔ شاخص را در امتداد تاریخ روز قرار داد. البته ممکن است خطوط مربوط به‌تاریخهای بیشتری را نیز بر روی صفحهٔ ساعت رسم کرد.

### ۲ــ۴. روش محاسباتی

با استفاده از روابط مثلثاتی، می‌توان صفحهٔ این ساعت را از راه محاسبه درجه‌بندی کرد. در شکل (۱۵ـ۳)، فواصل نقطهٔ A (پای شاخص) از نقاط مربوط به‌ساعات مختلف روز، نقاط ۱، ۲، ۳... و ۱۲، ۱۱، ۱۰... را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$L = HS \cot a \qquad (3\text{-}18)$$

که در آن

HS= ارتفاع شاخص
L = فاصلهٔ پای شاخص از نقاط مختلف مربوط به‌ساعات روز
a = ارتفاع خورشید

بدین ترتیب تا بحال درجه‌بندی صفحهٔ چند نوع ساعت خورشیدی را برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه بدست آورده‌ایم. در ادامهٔ مطلب، چگونگی استفاده ازساعتهای خورشیدی، در جهت‌یابی را مورد بحث قرار می‌دهیم:

## ۵. ساخت قطب‌نمای خورشیدی با استفاده از دو ساعت خورشیدی

قبلا اشاره شد که اساس کارساعتهای خورشیدی بر سه پارامتر ارتفاع، سمت و زاویهٔ ساعتی خورشید استوار است. از ترکیب دو ساعت خورشیدی که هر کدام بر یکی از این سه پارامتر استوارند، می‌توان قطب‌نمای خورشیدی ساخت. بدین ترتیب سه نوع ترکیب می‌تواند وجود داشته باشد. برای این کار دو ساعت انتخاب شده، طوری بر یک صفحهٔ افقی قرار داده می‌شوند که هر دو ساعت، یک وقت را نشان دهند. در نتیجه، خط مربوط به‌ساعت دوازدهٔ ظهر خورشیدی، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص خواهد کرد. مجموعهٔ دو ساعت خورشیدی به‌نام ساعت خورشیدی ترکیبی[1] موسوم است و بصورت جهت‌یاب و یا قطب‌نمای خورشیدی[2] می‌توان از آن استفاده کرد. بدین ترتیب مجموعهٔ دو ساعت را علاوه‌بر تعیین وقت شمسی حقیقی، می‌توان در جهت‌یابی نیز بکار گرفت. در ادامهٔ مطلب، چگونگی انتخاب در ترکیب دو ساعت، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

یک جهت‌یاب خورشیدی که بدین ترتیب ساخته می‌شود، می‌بایست قابل حمل باشد و لذا باید ازساعتهایی استفاده کرد که صفحهٔ آنها در ابعاد کوچک هم، خوانا و

1. Combined Dials 2. Solar Compass

واضح باشد. بعلاوه باید از ساعتهایی استفاده شود که بتوانند وقت خورشیدی را در تمام طول روز نشان دهند. با توجه به‌این نکات، ساعتهای مدرج شده قبلی را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

ساعت خورشیدی افقی نشان داده شده در شکلهای (۱-۳) و (۲-۳)، برای این کار مناسب است. صفحهٔ این ساعت، به‌آسانی درجه‌بندی شده و در ابعاد کوچک هم خوانا و واضح است. امّا فواصل درجه‌بندی، برای فواصل یکساعت درطول روز، بشکل خطی نیستند. البته بعلت سادگی روش درجه‌بندی، می‌توان درجه‌بندی برای اجزاء ساعت را نیز بر صفحهٔ آن مشخص کرد.

ساعت خورشیدی سمتی افقی، نشان داده شده در شکل (۶-۳)، ممکن است انتخاب مناسبی نباشد.

چنانکه قبلا توضیح داده شد، اساس درجه‌بندی صفحهٔ این ساعت خورشیدی بر مبنای دخول خورشید در برجهای دوازده‌گانه استوار است. تاریخ تقریبی ورود خورشید در هر برج، بصورت زیر است:

| فصل | نام برج | تاریخ تقریبی ورود خورشید در برج |
|---|---|---|
| بهار | حمل[1] (بره) | حدود اوّل فروردین (۲۱ مارس) |
| | ثور[2] (گاو) | « « اردیبهشت (۲۰ آوریل) |
| | جوزا[3] (دو پیکر) | « « خرداد (۲۱ مه) |
| تابستان | سرطان[4] (خرچنگ) | « « تیر (۲۱ ژوئن) |
| | اسد[5] (شیر) | « « مرداد (۲۳ ژوئیه) |
| | سنبله[6] (خوشه) | « « شهریور (۲۳ اوت) |
| پاییز | میزان[7] (ترازو) | « « مهر (۲۳ سپتامبر) |
| | عقرب[8] (کژدم) | « « آبان (۲۳ اکتبر) |
| | قوس[9] (کمان) | « « آذر (۲۲ نوامبر) |

1. Ram (Aries) 2. Bull (Taurus) 3. Twins (Gemini) 4. Crab (Cancer)
5. Lion (Leo) 6. Virgin (Vigro) 7. Balance (Libra) 8. Scorpion (Scorpio)
9. Archer (Sagittarius)

| | | | |
|---|---|---|---|
| | جَدْیٌ [1] (بز) | « | « دی (۲۲ دسامبر) |
| زمستان | دلو [2] (دول) | « | « بهمن (۲۰ ژانویه) |
| | حوت [3] (ماهی) | « | « اسفند (۱۹ فوریه) |

چنانکه در مراحل درجه‌بندی صفحهٔ این ساعت شرح داده شد، دیدیم که برای بدست آوردن تاریخ ورود خورشید در برجهای دوازده‌گانه، خط DB به‌شش قسمت برابر تقسیم شد. این بدان معنی است که فواصل زمانی ورود خورشید در برجهای دوازده‌گانه برابر است. امّا با توجه به‌تاریخهای داده شده در فوق، دیده می‌شود که این فواصل زمانی کاملا برابر نیستند.

باید توجه داشت که ساخت ساعتهای خورشیدی به‌زمانهای گذشته تعلق داشته و خیلی پیش از رواج ساعتهای مکانیکی مورد استفاده بوده است. در آن روزگار، مردم برای دخول خورشید در برجهای دوازده‌گانه اهمیت زیادی قائل بودند. بهمین جهت هفت خط موجود بر صفحهٔ بیشتر ساعتهای خورشیدی، نمایانگر دخول خورشید در برجهای منطقةالبروج است. تاریخ ورود خورشید در هر برج، از روی طول خورشید برحسب درجه، بر روی دایرةالبروج نسبت به‌نقطهٔ اعتدال بهاری بطرف مشرق تعیین می‌گردد و در اینجا دایرهٔ استوای سماوی، مبنای کار نیست. خورشید تقریباً بعد از هر ۳۰ روز وارد برج جدیدی می‌شود. با فرض برابری فواصل زمانی دخول خورشید در برجهای مختلف، هفت خط مذکور موازی هم بوده و دارای فواصل مساوی از یکدیگرند. چنانکه ترتیب جدول قبلی را عوض کرده و میل خورشید را نیز در آن وارد کنیم، خواهیم داشت:

| نام برج | تاریخ ورود خورشید به‌برج | میل خورشید | متوسط میل خورشید | میل خورشید | تاریخ ورود خورشید به‌برج | نام برج |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | −۲۳°۲۷′ | ۲۲ دسامبر | جدی |
| قوس | ۲۲ نوامبر | −۱۹°۵۹′ | −۲۰°۸′ | −۲۰°۱۶′ | ۲۰ ژانویه | دلو |
| عقرب | ۲۳ اکتبر | −۱۱°۹′ | −۱۱°۲۰′ | −۱۱°۳۱′ | ۱۹ فوریه | حوت |
| میزان | ۲۳ سپتامبر | ۰°۰′ | ۰°۰′ | ۰°۰′ | ۲۱ مارس | حمل |
| سنبله | ۲۳ اوت | +۱۱°۴۱′ | +۱۱°۲۹′ | +۱۱°۱۷′ | ۲۰ آوریل | ثور |
| اسد | ۲۳ ژوئیه | +۲۰°۱۳′ | +۲۰°۸′ | +۲۰°۲′ | ۲۱ مه | جوزا |
| سرطان | ۲۱ ژوئن | +۲۳°۲۷′ | | | | |

1. Goat (Capricorn) 2. Water-Bearer (Aquarius) 3. Fishes (Pisces)

با توجه به‌این جدول، دیده می‌شود که جز درمورد برجهای جدی و سرطان، میل خورشید، بهنگام دخول خورشید در هر دو برج، تقریباً برابر است. مثلا میل خورشید در برجهای دلو در بهمن ماه (ژانویه) و قوس در آذرماه (نوامبر) تقریباً برابرند. بعلاوه ترتیب جدول، تقارن موجود بین برجهای واقع در طرفین، انقلاب تابستانی و زمستانی را نشان می‌دهد.

تفاوت زمانی بین برجهای مختلف، درحدود یک روز می‌تواند باشد. مثلا فاصلهٔ زمانی از اوّل آذرماه (۲۲ نوامبر) تا اوّل دی ماه (۲۲ دسامبر) درحدود سی روز است. امّا از ۲۲ دسامبر تا ۲۰ ژانویه ۲۹ روز است. از این تفاوت یک روزه صرفنظر شده و فقط یک خط برای دو تاریخ و یا برجهای مربوط درنظر گرفته شده است. همچنین در این جدول دیده می‌شود که مقادیر متوسط میل، در دو طرف اعتدالین تا حد زیادی قرینه‌اند. زیرا چنانکه سروکارما با ساعتهای جیبی کوچکی باشد، می‌توان مقادیر میل خورشید را با تقریب اضافی و یا نقصانی ۳۰ دقیقه‌ای درنظر گرفت.

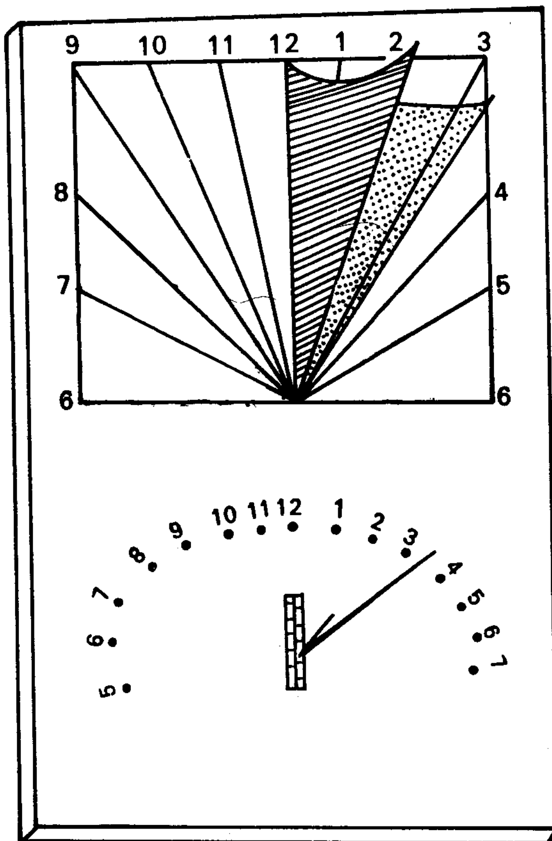
برعکس، اگر تاریخهای دقیق، مورد محاسبه قرار گیرند، خطوط بیشتری بر صفحهٔ ساعت ترسیم شده و در نتیجه، به‌صفحهٔ بزرگتری برای نشان دادن درجه‌بندی ساعت، نیازخواهد بود.

ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی، نشان داده شده درشکل (۱۵ـ۳)، نیز انتخاب مناسبی نیست. بحث قبلی درمورد فرض فواصل زمانی مساوی دربین برجهای مختلف، دراینمورد هم صادق است. بعلاوه این ساعت را نمی‌توان درنزدیکیهای زمان طلوع و غروب خورشید بکاربرد. با وجود این، مسلمین ازاین نوع ساعت، درجهت‌یابی، در قرن چهاردهم، استفاده کرده‌اند. بدین‌ترتیب که با بکار بردن ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی، وقت روز را تعیین کرده، سپس با بکار بردن یک ساعت جهتی، سمت شمال جغرافیایی را معین می کردند. یعنی ساعت جهتی را بر یک صفحهٔ افقی طوری قرارمی‌دادند که همان وقت ساعت ارتفاعی را نشان دهد. مجموعهٔ دو ساعت، تشکیل یک جهت‌یاب خورشیدی را می‌دهد که می‌تواند درقبله‌یابی بکارگرفته شود. چنانکه می‌دانیم، بعدها عقربهٔ مغناطیسی بکارگرفته شد که معایب آن، پیش ازاین بیان شده است.

تنها ساعت خورشیدی باقی‌مانده، ساعت خورشیدی، با مرکز متغیر است. هر دو نوع آن یعنی ساعت خورشیدی آنالماتیک و ساعت خورشیدی لامبرت مناسب هستند. درجه‌بندی صفحهٔ ساعت خورشیدی لامبرت، بصورت خطی یعنی با فواصل مساوی

است که درنتیجه، خواندن کسر ساعت بر روی آن ساده‌تر است. تنها عیب این ساعتها، شاخص آنهاست که محل آن می‌بایست مطابق تاریخ روز، تغییر داده شود. این مشکل درصورتیکه شاخص بتواند بصورت کشویی حرکت کند، قابل حل است.

با توجه به‌آنچه که گفته شد، بهترین ساعت خورشیدی ترکیبی، از مجموعهٔ یک ساعت خورشیدی افقی و یک ساعت خورشیدی با مرکز متغیر، بدست می‌آید. این نوع ساعت خورشیدی ترکیبی، درشکل (۱۶ـ۳) نشان داده شده است. تنها عیب این ابزار دراینست که فقط درمحوطه‌ای با عرض جغرافیایی مشخص، که برای آن طراحی شده است، قابل استفاده است. دقت این وسیله، بستگی به‌دقت بکار رفته در ساخت آن دارد.




شکل (۱۶ـ۳)ـــطرز قرار گرفتن ساعتهای خورشیدی افقی و آنالماتیک بر یک صفحهٔ افقی. صفحهٔ افقی طوری قرار داده می‌شود که هردوساعت خورشیدی، یک وقت را نشان دهند.

## ۶. بکار بردن یک ساعت خورشیدی، بعنوان جهت یاب خورشیدی

می‌توان یک ساعت خورشیدی، از نوع جهتی را که بدقت ساخته شده باشد، در جهت‌یابی بکار گرفت. البته این کار نیازمند انجام دادن مقدار کمی محاسبه و در دسترس داشتن ساعتی دقیق است.

در آغاز قرن هیجدهم، ساعتهای مکانیکی، بیشتر مورد توجه قرار گرفتند، امّا با وجودی که ممکن است عجیب بنظر برسد، رواج ساعتهای مکانیکی موجب عقب‌ماندگی ساعتهای خورشیدی نشد، بلکه سبب پیشرفت آنها گردید. بیشتر ساعتهای مکانیکی این دوره زیاد دقیق نبودند، لذا ساعتهای خورشیدی برای کنترل و میزان کردن آنها بکار می‌رفتند.

سیستم دقیق زمان‌سنجی امروزه را می‌توان در کاربرد ساعت خورشیدی بعنوان جهت‌یاب، بکار گرفت. می‌دانیم که ساعتهای معمولی وقت شمسی متوسط را برای نصف‌النهار استاندارد منطقهٔ مورد نظر تعیین می‌کنند. اما ساعتهای خورشیدی، وقت شمسی حقیقی را برای نصف‌النهار محلی که ساعت خورشیدی برای آن طراحی شده و در آنجا بکار برده می‌شود، معلوم می‌کنند. با بکار بردن پارامتر تعدیل زمان و تصحیح مربوط به‌اختلاف طول جغرافیایی، به‌طریقی که قبلاً بیان شد، می‌توان با استفاده از رابطه های (۳-۱) و (۴-۱)، وقت شمسی متوسط را به‌وقت شمسی حقیقی تبدیل کرد. لذا با در دست داشتن یک ساعت میزان‌شده، می‌توان وقتی را که آن ساعت نشان می‌دهد، به‌وقت شمسی حقیقی تبدیل کرد. سپس ساعت خورشیدی جهتی را طوری بر یک صفحهٔ افقی قرار می‌دهیم، که همان وقت شمسی حقیقیِ محاسبه شده را نشان دهد. در اینصورت خط مربوط به‌ساعت دوازدهٔ ظهر شمسی حقیقی، امتداد نصف‌النهار محلی را که ساعت خورشیدی برای آن ساخته شده، معین خواهد کرد. دقت این روش بستگی به‌دقت ساخت ساعت خورشیدی و دقت در قرار دادن آن خواهد داشت. تنها عیب این روش، نیاز به‌دانستن مختصات جغرافیایی محل است که ازقبل می‌بایست معلوم شده باشد.

## ۷. بکار بردن کرونومتر خورشیدی[1] بعنوان جهت یاب خورشیدی

زمانی برای میزان کردن ساعتهای مکانیکی از ساعتهای خورشیدی استفاده

1. Heliochronometer

می‌شد. امّا ممکن است با استفاده از وقت نشان داده شده توسط ساعتهای متداول؛ کرونومترهای خورشیدی را در جهت‌یابی بکار گرفت. بدینصورت که کرونومتر خورشیدی به‌صورتی قرار داده می‌شود که همان وقتِ ساعتهای معمولی را نشان دهد.

کرونومتر و یا زمان‌سنج خورشیدی، چنانکه از اسم آن پیداست، اوج تکامل ساعتهای خورشیدی است. ساختمان آنها معمولا پیچیده است و در نهایت ظرافت ساخته می‌شوند. از سیمی نازک بعنوان شاخص استفاده شده و به‌منظور نشان دادن تقسیمات کوچکتر وقت، از قبیل دقیقه و حتی ثانیه، از چرخ دنده‌ها استفاده می‌شود. پایهٔ آنها، مجهز به‌پیچهای تنظیم و تراز است. معمولا برای ساخت آنها از انواعی از ساعتهای خورشیدی استفاده می‌شود که درجات مربوط به‌صفحهٔ ساعت خورشیدی، دارای فواصل مساوی هستند و بیشتر، از نوع ساعت خورشیدی استوایی[1] و یا ساعت خورشیدی به‌شکل چند حلقه‌ای[2] استفاده می‌گردد. گاهی کرونومتر خورشیدی بشکل نیم‌استوانه[3] نیز ساخته می‌شود. در کرونومترهای خورشیدی، برای خواندن دقیقتر درجات صفحهٔ ساعت، ازورنیه[4] نیز استفاده می‌شود.ـ ورنیه وسیله‌ای است که برای خواندن کسری از کوچکترین درجهٔ یک درجه‌بندی، بکار برده می‌شود.

بدین ترتیب یک کرونومتر خورشیدی، بسیار دقیق ساخته می‌شود و دقیقترین نوع ساعت خورشیدی است که وقت را با تقریب چند ثانیه تعیین می‌کند. یک کرونومتر خورشیدی را می‌توان طوری تنظیم کرد که وقت ساعتهای مکانیکی و یا وقت رسمی را نشان دهد. نوعی از کرونومترهای خورشیدی برای میزان کردن ساعتهای مکانیکی ایستگاههای قطار در فرانسه، تا سال ۱۹۰۰ میلادی بکار می‌رفت. اگر امروزه انواعی از اینگونه ساعتهای خورشیدی ساخته شوند، موجب رواج دوبارهٔ آنها خواهد شد و چنانکه در ساختمان کرونومترهای خورشیدی دقت و ظرافت لازم بکار رود، دقت کار آنها موجب حیرت خواهد شد.

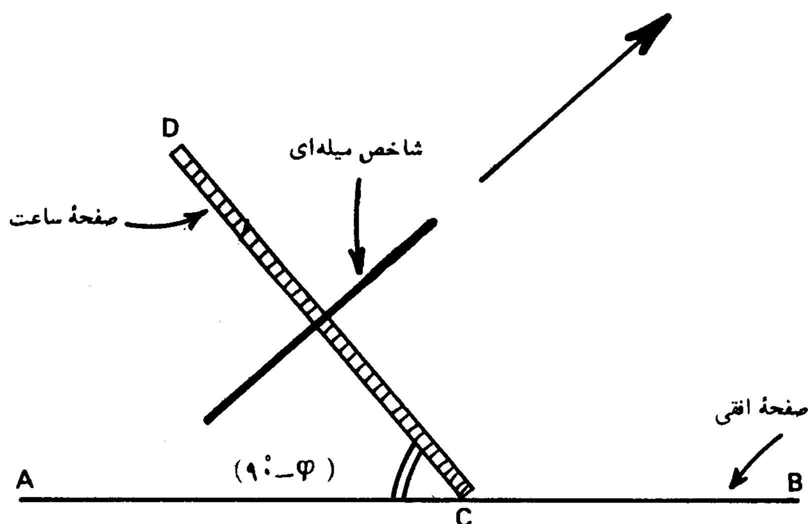
کرونومترهای خورشیدی را می‌توان بنحوی ساخت که قابل تنظیم درعرضهای جغرافیایی مختلف باشند. بنابراین از یک کرونومتر خورشیدی، که وقت رسمی را نشان دهد، می‌توان در جهت‌یابی استفاده کرد. کافی است که کرونومتری خورشیدی را طوری قرار داد که همان وقت ساعت معمولی را نشان دهد. در اینصورت خطوط مربوط به‌ساعت دوازدهٔ ظهر شمسی حقیقی، جهت شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص خواهد

1. Equatorial Dial 2. Armillary Dial 3. Half Cylinder
4. Vernier

کرد. امّا درچنین صورتی اطلاع ازطول و عرض جغرافیایی محل ضروری است.

در بالا اشاره شد که از ساعت خورشیدی نوع استوایی، می‌توان برای ساختن زمانسنج خورشیدی استفاده کرد. نام استوایی ازآنجا ناشی شده است که صفحهٔ این نوع ساعت خورشیدی به‌موازات صفحهٔ استوای زمین قرار می‌گیرد. شاخص آن از یک میله که عمود بر صفحهٔ ساعت است، تشکیل شده است و در نتیجه، شاخص به‌موازات محور زمین و بسوی قطب سماوی قرار می‌گیرد. درجه‌بندی صفحهٔ این ساعت، بستگی به‌عرض جغرافیایی محل ندارد، بنابراین صفحهٔ درجه‌بندی شدهٔ آن در هر عرض جغرافیایی قابل استفاده است.

ازآنجاییکه خورشید در نیمی ازسال (بهار و تابستان) در بالای صفحهٔ استوا و در نیمی دیگر (پاییز و زمستان) در زیر آن قرار دارد، لذا صفحهٔ این ساعت خورشیدی از یک صفحهٔ کم‌ضخامت تشکیل می‌شود که خطوط درجه‌بندی صفحهٔ ساعت بر دو سوی آن رسم می‌گردد. این ساعت خورشیدی جالب بوده و بسادگی قابل ساختن است. در شکل (۳-۱۷) نیمرخ این ساعت خورشیدی، بهنگام قرارگرفتن، نشان داده شده است. زاویهٔ ACD که صفحهٔ ساعت با صفحهٔ افق می‌سازد برابر متمم عرض جغرافیایی محل است ($۹۰^\circ - \varphi$).




شکل (۳-۱۷) — نیمرخ ساعت خورشیدی استوایی بهنگام قرارگرفتن بر صفحهٔ افقی.

## فصل چهارم

# حل چند مثال در مثلثات کروی

چنانکه در فصل پنجم مشاهده خواهد شد، محاسبهٔ جهت قبله، نیازمند اطلاعات مختصری دربارهٔ مثلثات کروی[1] است. لذا در این فصل، مطالبی چند درمورد مثلثات کروی داده شده و با حل چند مسئله مطلب را پی می‌گیریم. حلّ این مسائل، فهم فصل پنجم کتاب را آسان می‌کند.

### ۱. دایرهٔ عظیمه[2]

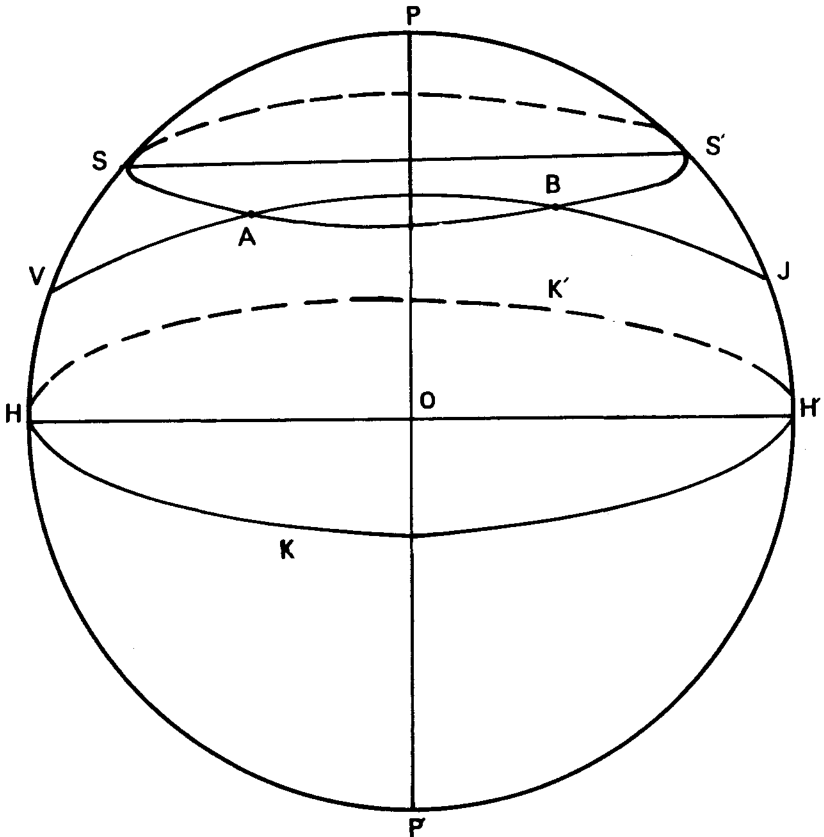
اگر بر روی سطح یک کره، دایره‌هایی رسم شوند که صفحات آنها از مرکز کره بگذرند، آنها را دوایر عظیمه می‌نامند. سایر دایره‌ها که صفحات آنها از مرکز کره نمی‌گذرند، دوایر صغیره[3] نامیده می‌شوند. برای مثال، اگر شکل کرهٔ زمین را یک کرهٔ کامل فرض کنیم، دایرهٔ استوا و دوایر نصف‌النهار، دایره‌های عظیمه، هستند. در حالیکه دایره‌های مدارات، دوایر صغیره‌اند.

کوتاهترین فاصله بین دو نقطه بر روی سطح یک کره، قوسی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که بر آن دو نقطه، می‌گذرد. مثلا اگر دو نقطه، مانند A و B بر روی یک مدار قرار داشته باشند، یعنی دارای عرضهای جغرافیایی برابر باشند، کوتاه‌ترین فاصلهٔ بین آنها، در امتداد دایرهٔ صغیرهٔ مدار مربوط نبوده بلکه قوسی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از نقاط A و B می‌گذرد.

در شکل (۴-۳)، با فرض کروی بودن زمین، دایرهٔ HKH'K، دایرهٔ عظیمه‌ای

1. Spherical Trigonometry 2. Great Circle 3. Small Circles

است که از مرکز ثقل[1] کرهٔ زمین در نقطهٔ O می‌گذرد. نقاط A و B بر روی مدار SABS′ قرار دارند. کوتاه‌ترین فاصلهٔ بین نقاط A و B بر روی قوس VABJ اندازه‌گیری می‌شود که این قوس قسمتی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از نقاط A و B می‌گذرد.




شکل (۱-۴)— کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه A و B بر روی یک کره. این فاصله بر روی کمان VABJ اندازه‌گیری می‌شود. این کمان قسمتی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از این دونقطه می‌گذرد.

موضوع کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه، بر روی یک کره، در محاسبهٔ جهت قبله بر روی کرهٔ زمین، حایز اهمیت است. بعداً در این فصل، با ذکر چند مثال، مطلب،

1. Center of Gravity

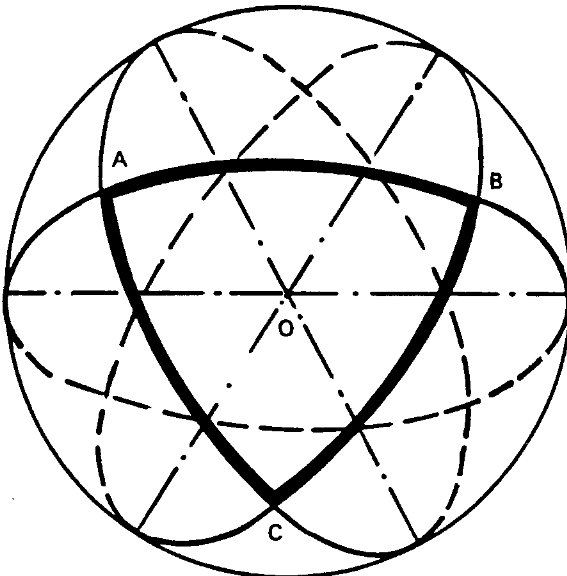
بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲. زاویهٔ کروی[1]

زاویه‌ای که از تقاطع صفحات دو دایرهٔ عظیمه بدست می‌آید، زاویهٔ کروی، نام دارد. همچنین اگر از نقطهٔ برخورد دو دایرهٔ عظیمه بر روی یک کرهٔ، دو خط مماس بر دو دایره، بصورتی رسم شوند که هر خط در صفحهٔ دایرهٔ عظیمهٔ مربوط قرار داشته باشد، زاویهٔ بین دو خط مماس، اندازهٔ زاویهٔ کروی بین دو دایرهٔ عظیمه را مشخص خواهدکرد.

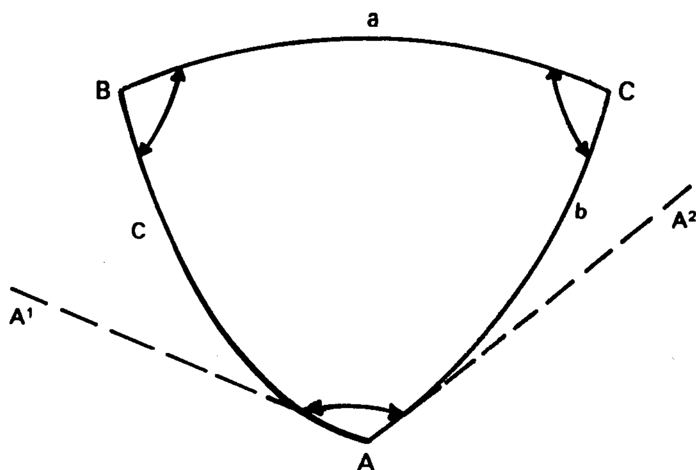
## ۳. مثلث کروی

یک مثلث کروی[2] شکلی است که بر روی سطح یک کره از تقاطع سه کمان از سه دایرهٔ عظیمه بدست می‌آید و زوایایی که توسط سه کمان در سه رأس مثلث کروی بوجود می‌آیند، به‌نام زوایای مثلث، موسوم‌اند، شکل (۲-۴). در شکل (۳-۴)،




شکل (۲-۴)— تشکیل یک مثلث کروی بر روی سطح یک کره.

1. Spherical Angle 2. Spherical Triangle



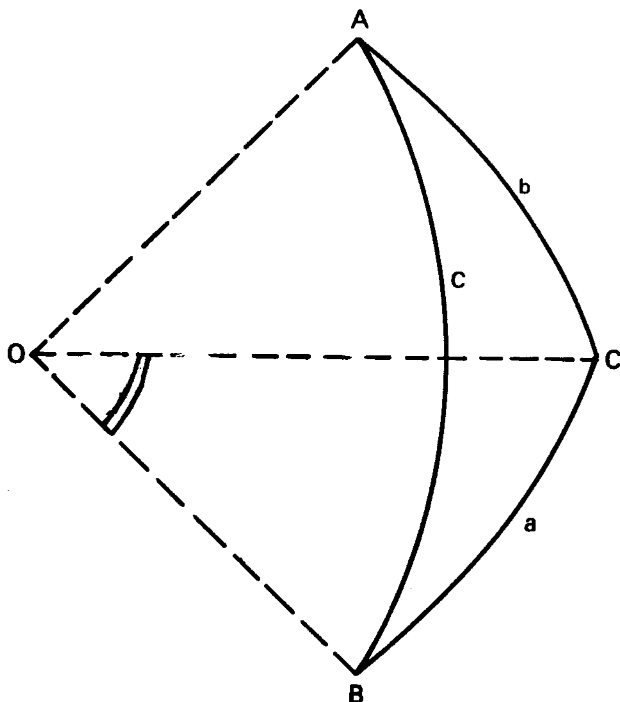

شکل (۳-۴) — اضلاع و زوایای مثلث کروی.

کمانهای $\widehat{AB}$ ، $\widehat{BC}$ و $\widehat{CA}$ قوسهایی از سه دایرهٔ عظیمه‌اند که یکدیگر را در نقاط A ، B و C قطع کرده‌اند. معمولا زوایای مثلث کروی با حروف بزرگ A ، B و C ، و اضلاع مقابل آنها با حروف کوچک a ، b و c مشخص می‌شوند. چون اضلاع یک مثلث کروی کمانهایی از دوایر عظیمه‌اند، بنابراین اندازهٔ آنها برحسب درجه بیان شده و برابر با زوایایی‌اند که این کمانها در مرکز کره، می‌سازند. بعبارت دیگر چنانکه شعاعهای کره در دو سر هر ضلع رسم شود، زاویهٔ بین هر دو شعاع برابر اندازهٔ زاویه‌ای ضلع مربوط است. بنابراین مطابق شکل (۴-۴) وقتی که نوشته می‌شود sin a ، منظور سینوس زاویهٔ بین شعاعهای رسم شده در نقاط B و C (زاویهٔ $\widehat{BOC}$) است.

همچنین در شکل (۳-۴) زاویهٔ کروی مثلث کروی در رأس A ، برابر زاویهٔ $\widehat{A^1AA^2}$ بین دو خط $AA^1$ و $AA^2$ است که به‌ترتیب بر کمانهای AB و AC در نقطهٔ A ، بصورت مماس رسم شده‌اند که خود این کمانها قسمتی از دایره‌های عظیمهٔ مربوط بوده و خطوط مماس شده، در صفحات آنها قرار دارند.

## ۴. خواص مثلث کروی

خواص یک مثلث کروی به‌شرح زیر است:




شکل (۴-۴) — برابری اندازهٔ اضلاع مثلث کروی با زوایای مربوط در مرکز کره. اندازهٔ کمان BC برابر با زاویهٔ $\hat{BOC}$ است.

۱. اندازهٔ هر زاویهٔ یک مثلث کروی از °۱۸۰ ($2\pi$) کمتر است.

۲. مجموع سه زاویهٔ یک مثلث کروی از °۱۸۰ بیشتر و از °۲۷۰ ($3\pi$) کمتر است.

۳. مجموع اندازه‌های هردو ضلع یک مثلث کروی از اندازهٔ ضلع سوم بیشتر است.

۴. اگر مجموع دو ضلع یک مثلث کروی برابر °۱۸۰ باشد، مجموع زوایای روبروی آنها نیز برابر °۱۸۰ خواهد بود.

۵. زاویهٔ کوچکتر در یک مثلث کروی روبروی ضلع کوچکتر قرار دارد و برعکس زاویهٔ بزرگتر مقابل ضلع بزرگتر است.

## ۵. فرمولهای یک مثلث کروی

شش مشخصهٔ یک مثلث کروی، سه زاویهٔ A، B و C و سه ضلع a، b و c می‌باشند. اگر در یک مثلث کروی سه پارامتر از این شش پارامتر معلوم باشد، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، می‌توان سه مشخصهٔ دیگر را محاسبه کرد. این فرمولها به‌شرح زیرند:

۱. فرمول سینوس:

$$\frac{\sin a}{\sin A}=\frac{\sin b}{\sin B}=\frac{\sin c}{\sin C} \qquad (۴\text{-}۱)$$

۲. فرمول کسینوس:

$$\cos A=\frac{\cos a-\cos b\cos c}{\sin b\sin c} \qquad (۴\text{-}۲)$$

و یا،

$$\cos a=\cos b\cos c+\sin b\sin c\cos A$$

همچنین،

$$\cos A=-\cos B\cos C+\sin B\sin C\cos a \qquad (۴\text{-}۳)$$

۳. فرمولهای محاسبهٔ نصف یک زاویه:

$$\sin\frac{A}{۲}=\sqrt{\frac{\sin(s-b)\sin(s-c)}{\sin b\sin c}} \qquad (۴\text{-}۴)$$

$$\cos\frac{A}{۲}=\sqrt{\frac{\sin s\sin(s-a)}{\sin b\sin c}} \qquad (۴\text{-}۵)$$

$$\tan\frac{A}{۲}=\sqrt{\frac{\sin(s-b)\sin(s-c)}{\sin s\sin(s-a)}} \qquad (۴\text{-}۶)$$

که در آنها،

$$s=\frac{۱}{۲}(a+b+c)$$

۴. فرمولهای مشابه فرمولهای قبلی برای محاسبهٔ نصف یک ضلع:

$$\sin\frac{a}{2}=\sqrt{\frac{-\cos S\cos(S-A)}{\sin B\sin C}} \qquad (۴\text{-}۷)$$

$$\cos\frac{a}{2}=\sqrt{\frac{\cos(S-B)\cos(S-C)}{\sin B\sin C}} \qquad (۴\text{-}۸)$$

$$\tan\frac{a}{2}=\sqrt{\frac{-\cos S\cos(S-A)}{\cos(S-B)\cos(S-C)}} \qquad (۴\text{-}۹)$$

که در آنها،

$$S=\frac{1}{2}(A+B+C)$$

۵. فرمولهای محاسبهٔ نصف مجموع و یا تفاضل دو ضلع:

$$\tan\frac{a+b}{2}=\frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{A+B}{2}}\tan\frac{c}{2} \qquad (۴\text{-}۱۰)$$

$$\tan\frac{a-b}{2}=\frac{\sin\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{A+B}{2}}\tan\frac{c}{2} \qquad (۴\text{-}۱۱)$$

۶. فرمولهای محاسبهٔ نصف مجموع و یا تفاضل دو زاویه:

$$\tan\frac{A+B}{2}=\frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{a+b}{2}}\cot\frac{C}{2} \qquad (۴\text{-}۱۲)$$

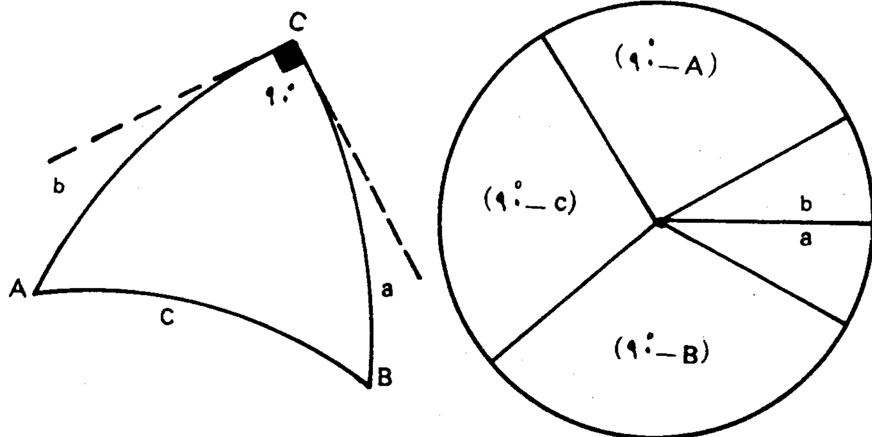
$$\tan\frac{A-B}{2}=\frac{\sin\frac{a-b}{2}}{\sin\frac{a+b}{2}}\cot\frac{C}{2} \qquad (۴\text{-}۱۳)$$

## ۶. مثلث کروی قائم‌الزاویه[1]

چنانکه یکی از زوایای یک مثلث کروی برابر با ۹۰ درجه باشد، مثلث کروی مربوط، قائم‌الزاویه است. روابط مثلث کروی قائم‌الزاویه را می‌توان با استفاده از قائدهٔ نپِر درسورد قطعات محصور در یک دایره[2]، بدست آورد. در شکل (۵-۴)، مثلث کروی ABC قائم‌الزاویه است که در آن $\hat{C} = 90^\circ$ می‌باشد. نپر قطعات محصور در یک دایره را، مطابق شکل، به‌ترتیب زیر تعریف کرده است:

۱. ضلع a ، یکی از اضلاع زاویهٔ قائمهٔ مثلث کروی.
۲. ضلع b ، ضلع دیگر زاویهٔ قائمهٔ مثلث کروی.
۳. متمم زاویهٔ A (زاویهٔ روبروی ضلع a ) یعنی $(90^\circ - A)$.
۴. متمم ضلع c (ضلع مقابل زاویهٔ قائمهٔ $\hat{C}$) یعنی $(90^\circ - c)$.
۵. متمم زاویهٔ B (زاویهٔ مقابل ضلع b ) یعنی $(90^\circ - B)$.

پنج قطعهٔ مذکور در فوق، به‌ترتیبی که در مثلث قائم‌الزاویهٔ مربوط، قرار گرفته‌اند، در یک دایره، قرار داده شده‌اند. لذا اگر با ضلع a شروع کنیم، سایر قطعات، به‌ترتیب عبارتند از b ، $(90^\circ - A)$، $(90^\circ - c)$ و $(90^\circ - B)$. سپس چنانکه هر قطعه‌ای را بعنوان قطعهٔ وسطی در نظر بگیریم، دو قطعه، مجاور آن و دو قطعه، مقابل




شکل (۵-۴) — قاعدهٔ نپِر درسورد قطعات محصور در یک دایره دررابطه با مشخصات یک مثلث کروی.

1. Right-Angled Spherical Triangle
2. Napier's Rules of Circular Parts

آن قرار دارند و روابط نپر به‌شرح زیر خواهد بود:

حاصلضرب تانژانتهای قطعات مجاور = سینوس هر قطعه وسطی

حاصلضرب کسینوسهای قطعات مقابل = سینوس هر قطعه وسطی

مثلا یعنی،

$$\sin b = \tan a \tan(۹۰^\circ - A) \qquad (۴\text{-}۱۴)$$

$$\sin b = \cos(۹۰^\circ - B)\cos(۹۰^\circ - c) \qquad (۴\text{-}۱۵)$$

با درنظر گرفتن هر قطعه‌ای بعنوان قطعه وسطی، می‌توان همهٔ روابط ممکن، بین اضلاع و زوایای یک مثلث کروی قائم‌الزاویه، را بدست آورد.

## ۷. کاربرد بعضی از فرمولهای مثلثات کروی

چنانکه قبلا نیز توضیح داده شد، اطلاعاتی درموضوع مثلثات کروی برای محاسبهٔ جهت قبله، لازم است. لذا در این بخش با ارائهٔ چند مثال، طرز استفاده از بعضی از فرمولهای مثلثات کروی را بیان کرده، ادامهٔ مطلب را در بخش پنجم پی می‌گیریم.

**مثال (۱-۴)** — کوتاه‌ترین فاصلهٔ بین دو نقطهٔ A و B با مختصات جغرافیایی زیر را بر روی زمین (بعنوان یک کرهٔ کامل) محاسبه کنید.

$$\varphi_A = ۲۱^\circ N \qquad \lambda_A = ۴۰^\circ E$$

$$\varphi_B = ۳۶^\circ N \qquad \lambda_B = ۵۱^\circ E$$

شعاع کرهٔ زمین را ۶۳۷۰ کیلومتر در نظر بگیرید.

**راه حل** — وضعیت نقاط A و B بر روی کرهٔ زمین، در شکل (۶-۴) نمایانده شده است. اگر نقطهٔ P ، قطب شمال جغرافیایی زمین باشد، در مثلث کروی ABP خواهیم داشت:

$$b = \widehat{AP} = ۹۰^\circ - \varphi_A = ۹۰^\circ - ۲۱^\circ = ۶۹^\circ$$

$$a = \widehat{BP} = ۹۰^\circ - \varphi_B = ۹۰^\circ - ۳۶^\circ = ۵۴^\circ$$

$$P = \widehat{APB} = \lambda_B - \lambda_A = ۵۱^\circ - ۴۰^\circ = ۱۱^\circ$$

کوتاهترین فاصله بین دو نقطهٔ A و B درامتداد کمان AB از دایرهٔ عظیمه‌ای

است که از دو نقطهٔ A و B گذر می‌کند. در مثلث کروی ABP، دو ضلع و یک زاویهٔ آن معلوم است، لذا با استفاده از فرمول کسینوس، یعنی فرمول (۲-۴)، می‌توان اندازهٔ ضلع ($AB = p$) را با استفاده از ماشین حساب، محاسبه کرد:

$$\cos P = \frac{\cos p - \cos a \cos b}{\sin a \sin b}$$

$$\cos p = \cos P \sin a \sin b + \cos a \cos b$$

$$\cos p = \cos ۱۱^\circ \sin ۵۴^\circ \sin ۶۹^\circ + \cos ۵۴^\circ \cos ۶۹^\circ$$

$$\cos p = ۰/۷۴۱۴۱ + ۰/۲۱۰۶۴ = ۰/۹۵۲۰۵$$

$$p = ۱۷^\circ/۸۱$$

امّا با توجه به‌دایرهٔ عظیمه‌ای که کمان AB قسمتی از آن است، خواهیم داشت:

$$\text{طول کمان } AB = \frac{۲ \times (\text{شعاع دایرهٔ عظیمه}) \times \pi}{۳۶۰^\circ} \times (۱۷^\circ/۸۱)$$

$$\text{طول } \widehat{AB} = \frac{۶۳۷۰ \times ۱۷^\circ/۸۱ \times \pi}{۱۸۰^\circ}$$

$$\text{طول } \widehat{AB} = ۱۹۸۰/۰۷ \text{ کیلومتر}$$

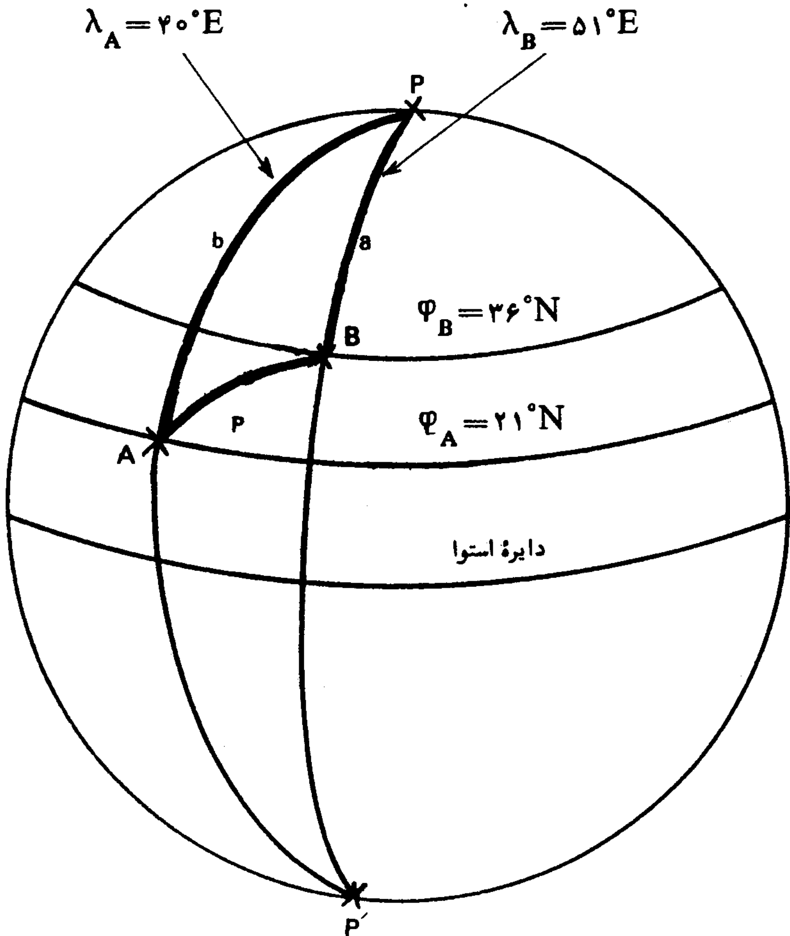
در نتیجه، کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطهٔ A و B برابر ۱۹۸۰/۰۷ کیلومتر است.

**مثال (۲-۴)** — جهت نقطهٔ A از نقطهٔ B و جهت نقطهٔ B از نقطهٔ A را در امتداد دایرهٔ عظیمه‌ای که از آنها می‌گذرد، برای مثال (۱-۴) محاسبه کنید.

**راه‌حل** — جهت نقطهٔ A از نقطهٔ B عبارت از زاویهٔ B و جهت نقطهٔ B از نقطهٔ A برابر زاویهٔ A است. زوایای A و B را می‌توان از فرمولهای محاسبهٔ نصف مجموع و یا تفاضل دو زاویه، یعنی فرمولهای (۱۲-۴) و (۱۳-۴) محاسبه کرد:

$$\tan\frac{(A+B)}{۲} = \frac{\cos\frac{(a-b)}{۲}}{\cos\frac{a+b}{۲}} \cot\frac{P}{۲}$$

$$\tan\frac{(A-B)}{۲}=\frac{\sin\frac{(a-b)}{۲}}{\sin\frac{(a+b)}{۲}}\cot\frac{P}{۲}$$




شکل (۶-۴) ــ مثال (۱-۴)، محاسبهٔ طول کوتاهترین فاصلهٔ بین نقاط A و B بر روی کرهٔ زمین.

در این مثال داریم:

$$\frac{(a-b)}{۲}=\frac{(۵۴^\circ-۶۹^\circ)}{۲}=-۷^\circ/۵$$

$$\frac{(a+b)}{۲}=\frac{۵۴^\circ+۶۹^\circ}{۲}=۶۱^\circ/۵$$

$$\frac{P}{۲}=\frac{۱۱^\circ}{۲}=۵^\circ/۵$$

$$\tan\frac{(A+B)}{۲}=\frac{\cos(-۷^\circ/۵)}{\cos(۶۱^\circ/۵)}\cot(۵^\circ/۵)$$

درنتیجه

$$\frac{(A+B)}{۲}=۸۷^\circ/۳۴۶۷۲$$

و

$$\tan\frac{(A-B)}{۲}=\frac{\sin(-۷^\circ/۵)}{\sin(۶۱^\circ/۵)}\cot(۵^\circ/۵)$$

که درنتیجهٔ

$$\frac{(A-B)}{۲}=-۵۷^\circ/۰۴۴۵۳۹$$

لذا جواب صحیح بصورت زیر است:

$$B \text{ از } A \text{ جهت}=\hat{B}=۱۴۴^\circ/۳۹۱۲۵$$

$$A \text{ از } B \text{ جهت}=\hat{A}=۳۰^\circ/۳۰۲۱۸۱$$

می‌توان صحت جواب را با استفاده از رابطهٔ سینوسی و یا فرمول (۱-۴)، امتحان کرد:

$$\frac{\sin a}{\sin A}=\frac{\sin b}{\sin B}=\frac{\sin p}{\sin P}$$

$$\frac{\sin(۵۴^\circ)}{\sin(۳۰^\circ/۳۰)}=\frac{\sin(۶۹^\circ)}{\sin(۱۴۴^\circ/۳۹)}=\frac{\sin(۱۷^\circ/۸۱)}{\sin ۱۱^\circ}$$

که خواهیم داشت

$$\frac{\sin(۵۴^\circ)}{\sin(۳۰^\circ/۳۰)}=۱/۶۰$$

و $$\frac{\sin(۱۷^{\circ}/۸۱)}{\sin(۱۱^{\circ})}=۱/۶۰$$

و $$\frac{\sin(۶۹^{\circ})}{\sin(۱۴۴^{\circ}/۳۹)}=۱/۶۰$$

این بدان معنی است که محاسبات درست است.

**مثال (۳ـ۴)**— فاصلهٔ دو نقطهٔ A و B را با مختصات جغرافیایی زیر در امتداد مدار مشترک آنها ($\varphi=۲۱^{\circ}N$) محاسبه کنید:

$$\varphi_A=۲۱^{\circ}N \qquad \lambda_A=۴۰^{\circ}E$$

$$\varphi_B=۲۱^{\circ}N \qquad \lambda_B=۱۰۶^{\circ}E$$

**راه حل**ـ با توجه به مطالبی که در بخش (۲ـ۵)، در فصل اوّل کتاب داده شد، فاصلهٔ دو نقطهٔ A و B در امتداد مدار °۲۱ شمالی به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{طول}\ \widehat{AB}=\frac{(\text{تفاوت طول جغرافیایی A و B})\times\pi\times ۶۳۷۰\times\cos\varphi}{۱۰۸^{\circ}}$$

$$\text{طول}\ \widehat{AB}=\frac{(۱۰۶^{\circ}-۴۰^{\circ})\times\pi\times ۳۶۷۰\times\cos ۲۱^{\circ}}{۱۸۰^{\circ}}$$

$$\text{طول}\ \widehat{AB}=۶۸۵۰/۳۴\ \text{کیلومتر}$$

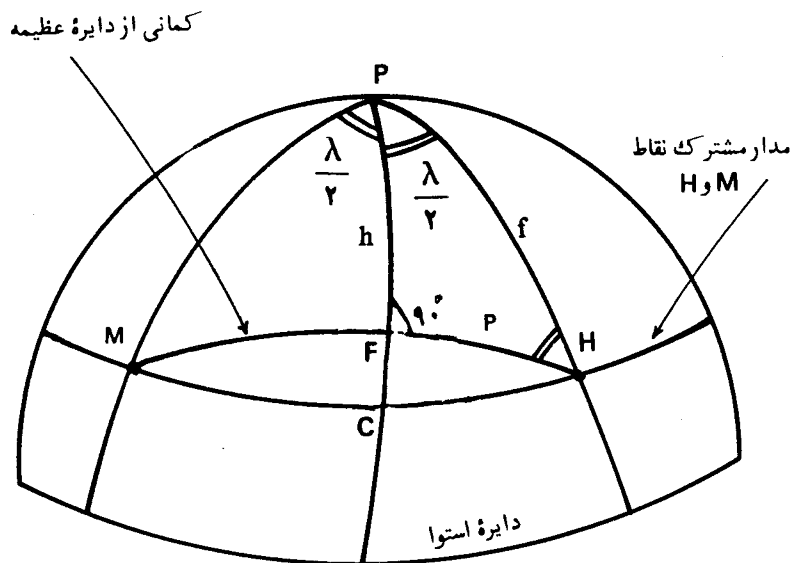
**مثال (۴ـ۴)**ـ دو نقطهٔ M و H بر روی کرهٔ زمین، دارای عرض جغرافیایی برابر بوده و اختلاف طول جغرافیایی آنها، مساوی $\lambda$ است. یعنی،

$$\varphi_H=\varphi_M=\varphi$$

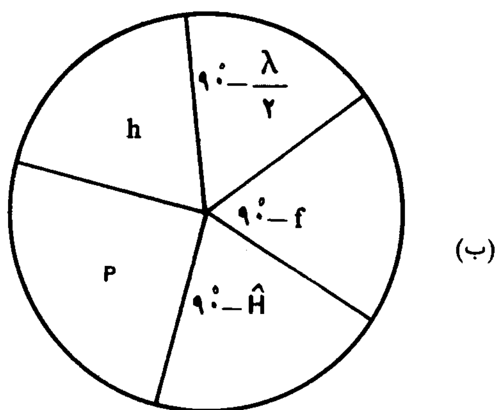
$$\lambda_H-\lambda_M=\lambda$$

کوتاهترین فاصلهٔ دو نقطه H و M را محاسبه کنید. سپس با استفاده از فرمول بدست آمده، کوتاهترین فاصلهٔ دو نقطه A و B، داده شده در مثال (۳ـ۴) را محاسبه کرده، نتیجه را با فاصلهٔ محاسبه‌شده در امتداد مدار مشترک دو نقطه ($\varphi_A=\varphi_B=۲۱^{\circ}N$) مقایسه کنید. شعاع متوسط کرهٔ زمین را با R مشخص سازید.

**راه حل**ـ در شکل (۷ـ۴، الف)، نقاط H و M دارای عرض جغرافیایی برابرند،




(الف)




(ب)

شکل (۴-۷) —محاسبهٔ کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه با عرض جغرافیایی برابر، با استفاده از قاعدهٔ نپیر.

کمان $\widehat{MFH}$ قسمتی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از این دو نقطه، می‌گذرد و نقطهٔ F وسط این کمان است $(\widehat{MF}=\widehat{FH})$ . درنتیجهٔ $\hat{MFP}=\hat{HFP}=۹۰^\circ$ . کمان $\widehat{MCH}$ دایرهٔ مدار مشترک دو نقطه M و H است و $\widehat{MP}$ و $\widehat{HP}$ نصف‌النهارهای دو نقطه است. $\widehat{FP}$ نیز نصف‌النهار نقطهٔ وسط کمان $\widehat{MFH}$ است. بنابراین مثلث‌های کروی MPF و HPF قائم‌الزاویه‌اند. درمثلث قائم‌الزاویه HFP خواهیم داشت:

$$\widehat{PH}=f=۹۰^\circ-\varphi_H=۹۰^\circ-\varphi$$

$$\widehat{PF}=h$$

$$\hat{FPH}=\frac{\lambda}{۲}$$

طول کمان $\widehat{FH}=p$ را می‌توان با استفاده از قاعدهٔ نپر محاسبه کرد: در شکل (۷ـ۴، ب) قطعات مربوط، در دایره، برای مثلث کروی قائم‌الزاویهٔ HPF نشان داده شده است. درنتیجه خواهیم داشت:

$$\sin p=\cos\left(۹۰^\circ-\frac{\lambda}{۲}\right)\cos(۹۰^\circ-f)$$

$$=\sin\frac{\lambda}{۲}\sin f$$

$$=\sin\frac{\lambda}{۲}\sin(۹۰^\circ-\varphi)=\sin\frac{\lambda}{۲}\cos\varphi$$

برحسب درجه $\widehat{FH}=p=\sin^{-۱}\left(\sin\frac{\lambda}{۲}\cos\varphi\right)$

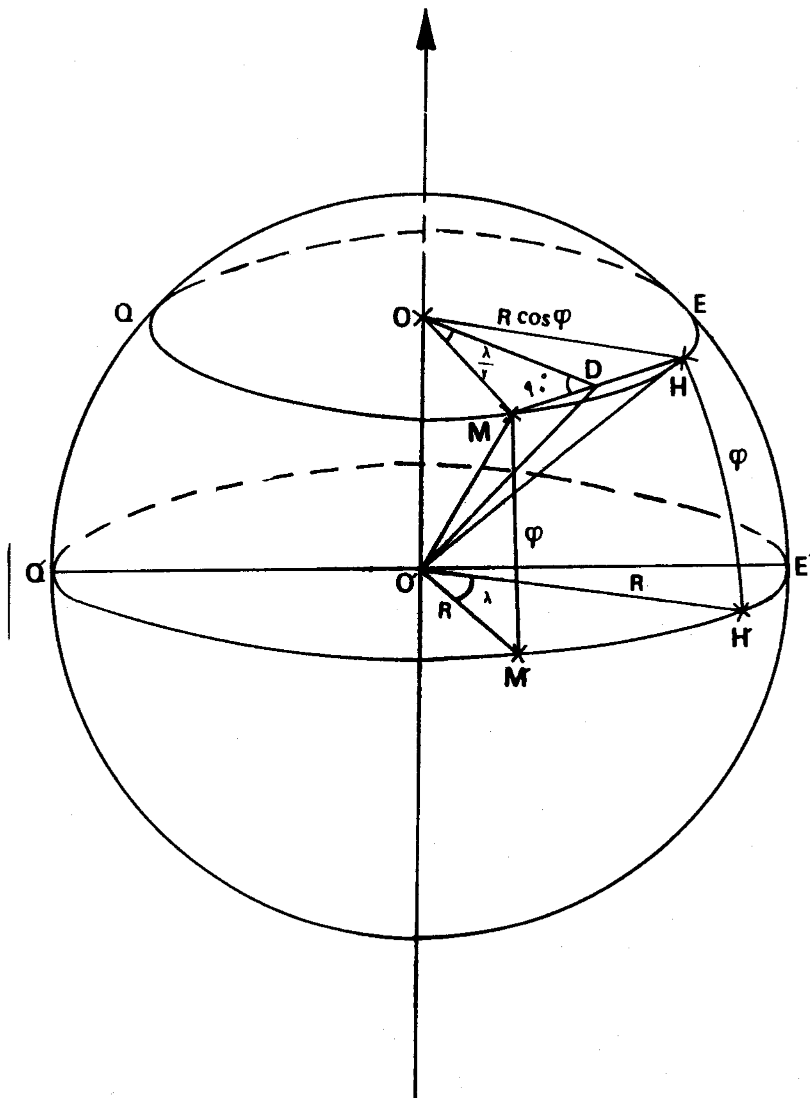
امّا، $\widehat{MFH}=۲\times\widehat{FH}=2p$

پس، برحسب درجه $\widehat{MFH}=۲\sin^{-۱}\left(\sin\frac{\lambda}{۲}\cos\varphi\right)$

و طول کمان $\widehat{MFH}$ بصورت زیر خواهد بود:

طول $\widehat{MFH}=\frac{۲\pi R}{۳۶۰^\circ}\times ۲\sin^{-۱}\left(\sin\frac{\lambda}{۲}\cos\varphi\right)$

$$\text{طول } \widehat{MFH} = \frac{\pi R}{۹۰^\circ} sin^{-۱}\left(sin\frac{\lambda}{۲}cos\varphi\right) \qquad (۴\text{-}۱۶)$$




شکل (۸-۴)—محاسبهٔ کوتاهترین فاصله بین دو نقطهٔ M و H با عرض جغرافیایی برابر، با استفاده از روابط مثلثاتی.

بدون استفاده از قاعدهٔ نپر، می‌توان همین نتیجه را با استفاده از روابط مثلثاتی نیز بدست آورد. در شکل (۸-۴) نقاط H و M بر روی کره، نشان داده شده است. نقطهٔ M توسط خطی مستقیم به نقطهٔ H وصل شده است که نقطهٔ D وسط آنست (MD=DH)

درنتیجه $\widehat{MDO}=90^\circ$ و $\widehat{HOD}=\widehat{MOD}=\frac{\lambda}{2}$ . سپس می‌توان نوشت،

$$\sin\widehat{MOD}=\sin\frac{\lambda}{2}=\frac{MD}{OM}=\frac{MD}{R\cos\varphi}$$

$$MD=R\cos\varphi\sin\frac{\lambda}{2}$$

اگر دایرهٔ عظیمه‌ای بر دو نقطهٔ M و H مرور دهیم، زاویهٔ $\widehat{MO'H}$ در مقابل کمانی از آن که بین این دو نقطه واقع است، قرار خواهد گرفت. لذا برای محاسبهٔ طول کمان مربوط، کافی است زاویهٔ $\widehat{MO'H}$ را محاسبه کنیم. امّا،

$$\widehat{MO'H}=2\times\widehat{MO'D}$$

و

$$\widehat{MO'D}=90^\circ$$

لذا،

$$\sin\widehat{MO'D}=\frac{MD}{R}$$

$$\sin\widehat{MO'D}=\frac{R\cos\varphi\sin\frac{\lambda}{2}}{R}$$

$$\widehat{MO'D}=\sin^{-1}\left(\cos\varphi\sin\frac{\lambda}{2}\right)$$

$$\widehat{MO'H}=2\sin^{-1}\left(\cos\varphi\sin\frac{\lambda}{2}\right)$$

و بسادگی می‌توان دریافت که این نتیجه، با حاصل روش قبلی، یکی است.

در مرحلهٔ بعد، با استفاده از فرمول بدست آمده با شمارهٔ (۱۶-۴)، کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه A و B درمثال (۳-۴) را محاسبه می‌کنیم:

فاصلهٔ AB در امتداد دایرهٔ عظیمه $=\frac{\pi R}{۹۰^\circ} sin^{-۱}\left(sin\frac{\lambda}{۲}cos\varphi\right)$

فاصلهٔ AB در امتداد دایرهٔ عظیمه $=\frac{\pi \times ۶۳۷۰}{۹۰^\circ} sin^{-۱}\left[sin\left(\frac{۱۰۶^\circ-۴۰^\circ}{۲}\right)cos ۲۱^\circ\right]$

کیلومتر ۶۷۹۵/۵۲ = کوتاهترین فاصلهٔ A و B

امّا قبلا فاصلهٔ بین دو نقطهٔ A و B در امتداد مدار مشترک آنها را در مثال (۳-۴) محاسبه کردیم که نتیجهٔ آن (۶۸۵۰/۳۴) کیلومتر بود. لذا دیده می‌شود که کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطهٔ A و B باندازهٔ

کیلومتر ۶۸۵۰/۳۴-۶۷۹۵/۵۲ = ۵۴/۸۲

از فاصلهٔ مداری آنها کمتر است.

بنابراین دیده می‌شود که بین دو نقطه، مانند A و B با عرض جغرافیایی برابر، می‌توان دو مسیر مختلف را طی کرد: یکی که کوتاهترین مسیر است و در امتداد دایرهٔ عظیمه‌ای قرار دارد که از این دو نقطه می‌گذرد، و دیگری با طول بیشتر، در امتداد مدار مشترک آنهاست. درطی مثال بعدی بزرگترین فاصلهٔ نصف‌النهاری بین این دو مسیر را محاسبه می‌کنیم:

**مثال (۵-۴)**— بزرگترین فاصلهٔ نصف‌النهاری بین دو مسیر $\widehat{MFH}$ (در امتداد دایرهٔ عظیمه) و $\widehat{MCH}$ (در امتداد مدار مشترک) مربوط به‌شکل (۷-۴) درمثال (۴-۴) را محاسبه کنید؛ سپس فاصلهٔ مربوط را برای مقادیر عددی مثال (۳-۴) بدست آورید.

**راه حل**— در شکل (۷-۴)، بزرگترین فاصلهٔ نصف‌النهاری بین مسیر دایرهٔ عظیمه و مسیر مدار مشترک، در امتداد کمان $\widehat{CF}$ است ($\hat{PFM}=\hat{PFH}=۹۰^\circ$).

طول $\widehat{CF}$ به‌شرح زیر است:

$$\widehat{CF}=\widehat{PC}-\widehat{PF}=(۹۰^\circ-\varphi)-h$$

طول $\widehat{PF}=h$ را می‌توان با استفاده از قاعدهٔ نپر در مثلث کروی قائم‌الزاویهٔ PFH محاسبه کرد،

$$sin\left(۹۰^\circ-\frac{\lambda}{۲}\right)=tan h tan(۹۰^\circ-f)$$

و یا،

$$cos\frac{\lambda}{۲}=tan h cot f=tan h cot(۹۰^\circ-\varphi)$$

$$\cos\frac{\lambda}{۲} = \tan h \tan\varphi$$

$$\tan h = \cos\frac{\lambda}{۲}\cot\varphi$$

پس،

$$\widehat{PF} = h = \tan^{-۱}\left(\cos\frac{\lambda}{۲}\cot\varphi\right)$$

و لذا،

$$\widehat{CF} = (۹۰^\circ - \varphi) - \tan^{-۱}\left(\cos\frac{\lambda}{۲}\cot\varphi\right) \text{ برحسب درجه}$$

و درنتیجه،

$$\text{طول کمان } \widehat{CF} = \frac{\pi R\left[(۹۰^\circ - \varphi) - \tan^{-۱}\left(\cos\frac{\lambda}{۲}\cot\varphi\right)\right]}{۱۸۰^\circ} \qquad (۴\text{-}۱۷)$$

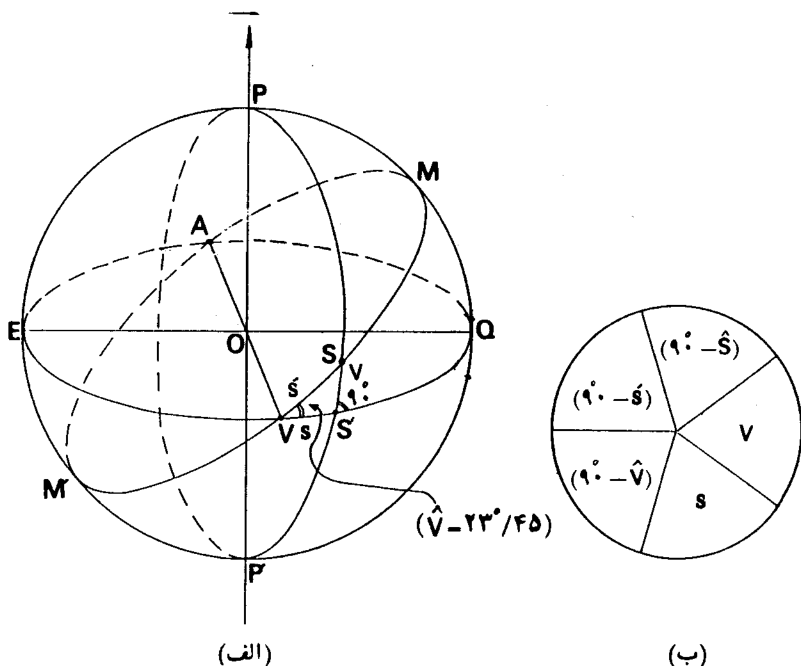
سپس با استفاده از این فرمول، می‌توان این فاصله را برای مثال عددی (۳-۴) حساب کرد:

$$\text{طول } \widehat{CF} = \frac{\pi \times ۶۳۷۰ \times \left[(۹۰^\circ - ۲۱^\circ) - \tan^{-۱}\left(\cos\frac{۶۶^\circ}{۲}\cot ۲۱^\circ\right)\right]}{۱۸۰^\circ}$$

کیلومتر **۳۹۹/۵۵** = فاصلهٔ نصف‌النهاری دو مسیر

چنانکه این فاصله را با اختلاف طول دو مسیر که برابر **۵۴/۸۲** کیلومتر است، مقایسه کنیم دیده می‌شود که فاصلهٔ نصف‌النهاری دو مسیر خیلی بیشتر از اختلاف طول دو مسیر است. این مطلب از نظر تعیین جهت قبلهٔ نقاطی که عرض جغرافیایی آنها برابر عرض جغرافیایی مکهٔ معظمه است، حائز اهمیت می‌باشد و در فصل پنجم، در این باره توضیح بیشتری داده خواهد شد.

**مثال (۶-۴)** — در شکل (۹-۴، الف) کره‌ای با مرکز O نشان داده شده است. دو دایرهٔ عظیمهٔ EVQA و ḾVMA بر روی آن بصورتی رسم شده‌اند که زاویهٔ بین صفحات آنها برابر °۲۳ و ′۲۷ است. فرض کنید که نقطهٔ S با سرعتی یکنواخت، از نقطهٔ V بر روی دایرهٔ ḾVMA شروع به حرکت کند. همچنین فرض کنید که نقطهٔ Ś تصویر




**شکل (۹ـ۴)ــ شکل مربوط به‌مثال (۶ـ۴).**

نقطهٔ S بر روی دایرهٔ عظیمهٔ EVQA در امتداد دایرهٔ عظیمهٔ PSP′ باشد، که صفحهٔ خود این دایره بر صفحهٔ دایرهٔ EVQA عمود است. حال اگر نقطهٔ S باندازهٔ یک درجه از نقطهٔ V بر روی دایرهٔ عظیمه M′VMA حرکت کند، محاسبه کنید که اندازهٔ زاویه‌ای کمان VS′ ، چند است.

**راه حل**ــ مثلث کروی VS′S قائم‌الزاویه است و لذا اندازهٔ کمان $\widehat{VS'}=s$ را می‌توان با استفاده از قاعدهٔ نِپِر حساب کرد. با توجه به‌شکل (۹ـ۴، ب)، داریم:

$$\sin(۹۰° - \hat{V}) = \tan s \tan(۹۰° - s')$$

$$\cos\hat{V} = \tan s \cot s'$$

$$\cos(۲۳°/۴۵) = \tan s \cot ۱°$$

$\tan s = ۰/۰۱۶۰۱۳۳$

$s = ۰/۹۱۷۴۱۶$ درجه

$\widehat{VS'} = s = ۵۵'$ و $۲''/۷$

بنابراین طی یک درجه از نقطهٔ V بر روی دایرهٔ عظیمهٔ $M'VMA$ ، برابر طی ۵۵ دقیقه و ۲/۷ ثانیه توسط نقطهٔ $S'$ بر روی دایرهٔ عظیمه EVQA خواهد بود.

از نتیجهٔ این مثال در فصل ششم استفاده خواهد شد.

## فصل پنجم

# روشهای قبله یابی

تا اینجای مطلب، چگونگی تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و مختصات جغرافیای یک محل، مورد بررسی قرار گرفت و همچنین مثالهایی در مثلثات کروی داده شد. این اطلاعات در قبله یابی مورد لزوم‌اند و در این فصل از آنها استفاده خواهد شد.

مطالب این فصل، خواننده را برای درک هرچه بیشتر فصول بعدی، در مورد تحقیقات لازم درقبله یابی، آماده خواهد کرد.

در این فصل، روشهای مختلف قبله یابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا شرح مختصری راجع به‌قبله داده می‌شود، سپس روشهای مورد نظر، بررسی می‌گردد.

## ۱. قبله

کلمهٔ قبلهٔ عربی است (قبلة) و به‌معنای آنچه که پیش روی گیرند و جهت و سمت را گویند. قبله عبارت از جهتی است که بسوی کعبه— خانهٔ خدا درمکه‌معظمه— قرار دارد. مسلمین بهنگام نماز رو به‌قبله قرارمی‌گیرند

بعلاوه دانستن جهت قبله، در بسیاری دیگر از مراسم مذهبی مسلمین، مورد لزوم‌است. جهت‌قبله‌درکلیهٔ مساجد که محل عبادت مسلمانان‌است، مشخص می‌باشد. درصحن مساجد، محراب بسوی قبله ساخته می‌شود. بنابراین جهت قبله درطرح و بنای مساجد حایز اهمیت است. مسلمین در خانه‌های خود نیز نیازمند تعیین جهت قبله هستند. بهنگام ذبح و قربانی، دانستن جهت قبله نیز لازم است. همچنین در محوطهٔ گورستانها، جهت قبله را تعیین می کنند.

هزاران مسجد، در هر کشور اسلامی دارای جهت مشخص قبله‌اند و همچنین دانستن جهت قبله در معماری اسلامی، از ضروریات است.

تمام این نکات، حاکی از آنست که جهت قبله در میان مسلمین دارای اهمیت زیادی است.

## ۲. کعبه

کعبه نیز عربی است (کعبة) و بمعنای خانهٔ چهارگوش و غرفه است. کعبه یک ساختمان کوچک مکعبی شکل است که در مسجد بزرگ در مکهٔ معظمه، قرار دارد. خانهٔ کعبه بارها تجدید بنا شده است و ساختمان فعلی منسوب به حضرت ابراهیم (ع) و حضرت اسماعیل (ع) است. کعبه را بیت‌الله (خانهٔ خدا) و یا بیت‌الحرام نیز می‌نامند. اصطلاح بیت‌الحرام از آنجا ناشی شده که داخل شدن در آن، برای مشرکان حرام بوده است.

## ۳. مکه

مقدس‌ترین شهر مسلمین، شهر مکه است که در کشور عربستان‌سعودی قرار دارد. مکه مرکز منطقهٔ‌حجاز و در حدود ۷۲ کیلومتری شرق بندرجده که در کنار دریای سرخ است، قرار دارد.

پیروان حضرت محمد (ص) آن را (ام‌القُری[1]) به‌معنای مادر شهرها می‌نامیدند. اهمیت این شهر از آنجا ناشی شده، که محل تولد حضرت محمد (ص) است. اما این شهر قبل از میلاد آخرین پیغمبر خدا، نیز محل زیارت بوده است.

مسجد بزرگ مکه با حیاط مرکزی و ستونهای متعدد آن، در سطح یک میدان مرکزی قرار گرفته است. صحن این مسجد در فواصل بین ایام حج، بعنوان محل تدریس علوم، و علوم اسلامی بکار گرفته می‌شود. کعبه در حیاط مرکزی این مسجد قرار دارد که در حقیقت مقدسترین محل مکه معظمه است و دقیقاً محلی است که جهت قبلهٔ در هرجای کرهٔ زمین، بسوی آن قرار می‌گیرد.

شهر مکهٔ علاوه بر اینکه کعبه، مقدس‌ترین محل مسلمین را در بر دارد، از نظر مراسم حج و زیارت نیز حائز اهمیت زیادی است. حج یکی از ارکان دین اسلام است

1. Um–El–Qura

وبر هر مسلمانی، انجام یک‌بار آن، در صورت توانایی جسمی و مالی، از واجبات‌است. مراسم حج سالی یک‌بار در ماه ذی‌حجه صورت می‌گیرد.

## ۴. مختصات جغرافیایی کعبه

در فصل چهارم دیدیم که برای بدست آوردن جهت نقطه‌ای مانند A ، از نقطه‌ای مانند B ، می‌بایست مختصات جغرافیایی آنها را داشته باشیم. لذا برای بدست آوردن جهت قبله در هر نقطه‌ای بر روی کرهٔ زمین، می‌بایست مختصات جغرافیایی کعبه و محل مورد نظر را بدانیم. این مطلب در بیشتر روشهای قبله یابی مصداق دارد.

متأسفانه مختصات جغرافیایی کعبه در اطلسهای جغرافیایی، داده نشده است. امّا مختصات جغرافیایی شهر مکه در اطلسهای مختلف، با اندکی اختلاف داده شده است. مختصات جغرافیایی مکه که در این کتاب بکار رفته، از اطلس زیر گرفته شده است:

Emrys Jones, "The Atlas of World Geography," Sundial Books Limited, 59 Grosnenor Street, London, W1, 1977.

در این کتاب، مقادیر داده‌شده برای طول و عرض جغرافیایی مکهٔ معظمه به‌شرح زیر است:

$$\text{عرض جغرافیایی مکه} = \varphi_M = ۲۱^\circ \quad ۳۰'$$

$$\text{طول جغرافیائی مکه} = \lambda_M = ۳۹^\circ \quad ۵۴'$$

از آنجاییکه در این کتاب، فقط به‌بیان روشها، اکتفا شده است، لذا این مختصات، بعنوان مختصات جغرافیایی کعبه فرض شده است و این فرض، درنتیجهٔ بعضی از روشها، تأثیر چندانی ندارد. البته چنانکه در فصل نهم کتاب خاطرنشان شده است، درمورد کارهای دقیق، دانستن مختصات دقیق کعبه لازم است. شاید مختصات دقیق این مکان مقدس، تابحال تعیین شده باشد که نگارنده نتوانسته باشد به‌آن دست یابد. بهر صورت تعیین مختصات جغرافیایی این محل با روشهای نجومی لازم است.

## ۵. روشهای تعیین قبله

جهت قبله تا سال دوّم هجرت بسوی بیت‌المقدس بود. در ماه رجب سال دوّم هجرت، به‌سوی کعبه تعیین شد. از این تاریخ به‌بعد، جهت خانهٔ خدا اهمیت پیدا کرد. شاید در اوایل رواج اسلام، اهمیت مطلب، چندان نبوده، امّا بعدها، بعلّت اشاعهٔ اسلام در سرزمینهای دورتر، جهت‌یابی قبله، دارای اهمیت فراوانی شد. امروزه، بعلت کثرت تردد و مسافرت، مسلمین در اقصی‌نقاط دنیا زندگی می‌کنند و لذا جهت‌یابی قبله از اهمیت بیشتری برخوردار است.

هزاران مسجد قدیمی از قرون گذشته، در ممالك اسلامی پراکنده‌اند. شاید تحقیق جالبی باشد که دریابیم گذشتگان، چگونه جهت قبله را تعیین می‌کردند. قطعاً از اسطرلاب بدین منظور استفاده می‌شده است. همچنین ممکن است بکمك دانش نجوم، و نقشه‌برداری که امروزه بسیار زیاد پیشرفت کرده است، دقت کار گذشتگان را بررسی کرد. در موارد بسیار دقیقتر، ممکن است علم زمین‌پیمایی (ژئودزی)[1] را که در آن شکل واقعی زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد، بکار گرفت—شکل زمین در فصل هشتم به‌صورت مختصر مورد بررسی قرار گرفته است—بعلاوه امروزه با کمك قمرهای مصنوعی و دانش نجوم و عکس‌برداری‌هوایی[2]، می‌توان وضعیت نقاط با فواصل زیاد را بر روی کرهٔ زمین، دقیقاً تعیین کرد.

در ایران فعالیتهایی درمورد قبله‌یابی در دهه‌های اخیر صورت گرفته است. در سال ۱۳۷۱ هجری قمری، سرتیپ مهندس عبدالرزاق خان بغایری، کتابی تحت عنوان «معرفةالقبله» که حاوی طول وعرض جغرافیایی و جهت قبلهٔ شهرهای زیادی در دنیاست، ارائه داده است که این کتاب تحت شمارهٔ (۱۳۸۱۲) درکتابخانهٔ ملی‌ایران در تهران ثبت شده است.

تیمسار سرتیپ حسینعلی رزم‌آرا، رسالهٔ خود را تحت عنوان «قبله‌نمای رزم‌آرا» در سال ۱۳۳۴ هجری شمسی منتشر ساخت، اختراع قبله‌نمای رزم‌آرا در سال ۱۳۳۱ هجری شمسی توسط ایشان به‌ثبت رسیده است. رسالهٔ آقای رزم‌آرا درکتابخانهٔ ملی، تحت شمارهٔ (۱۴۶۰۷) ثبت شده است. بعداً در این فصل راجع به‌قبله‌نمای مغناطیسی توضیح بیشتری داده خواهد شد.

دکتر عباس ریاضی کرمانی، چند روش قبله‌یابی را درکتاب خود تحت عنوان

1. Geodesy 2. Aerial Photogrammetry

«مقدمه‌ای بر نجوم عالی» آورده است. این کتاب از انتشارات دانشگاه تهران است که با شمارهٔ (۱۳۲۵) در سال ۱۳۵۰ منتشر گردیده است. در این کتاب، مختصات جغرافیایی و جهت قبلهٔ تعداد زیادی از شهرهای ایران و جهان ذکر شده است.

مسلماً آثار دیگری در موضوع قبله یابی موجود است که نگارنده از وجود آنها بی‌اطلاع است.

نگارنده، دربارهٔ فعالیتهای انجام‌شده درمورد قبله یابی، در زمانهای قبل از دهه‌های اخیر، تحقیقی انجام نداده است. در این مورد آثار ارزشمندی به‌زبان عربی موجود است و شاید زمینه جالبی باشد که دربارهٔ روشهای قبله یابی در ایران و سایر کشورهای اسلامی، در زمانهای پیشین، تحقیق جامعی صورت گیرد. البته موضوع قبله یابی در آثار بجا مانده از دانشمند بزرگ جهانی، ابوریحان محمدبن احمد بیرونی خوارزمی (۳۶۲ هجری قمری — ۴۴۰ هجری قمری) از ارزش والایی برخوردار است و خود می‌تواند موضوع تحقیق گسترده‌ای باشد.

در ادامهٔ این بخش، به روشهای مختلف قبله یابی می‌پردازیم:

## ۱—۵. محاسبهٔ جهت قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی

درحقیقت اساس این روش درمثال (۲-۴) درفصل چهارم، نمایانده شده است. در درجهٔ اوّل می‌بایست طول و عرض جغرافیایی محل مورد نظر را تعیین و سپس با در دست داشتن مختصات جغرافیایی کعبه، جهت قبله را محاسبه کرد. در مرحلهٔ بعدی چهار جهت اصلی محل را مشخص ساخته، آنگاه جهت قبله را نسبت به‌آن توجیه کرد. در اینجا خواننده درخواهد یافت که چرا موضوعهای فصول قبلی به‌آن صورت انتخاب، و ارائه شده است.

روش محاسبهٔ جهت قبله، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، در طی یک مثال، داده می‌شود:

**مثال (۱-۵)—جهت قبله در تهران، روش محاسباتی:** جهت قبله را در نقطه‌ای در تهران با مختصات جغرافیایی زیر محاسبه کنید.

$\lambda_T = ۵۱° \ ۲۷'$ شرقی $\qquad$ $\varphi_T = ۳۵° \ ۴۱'$ شمالی

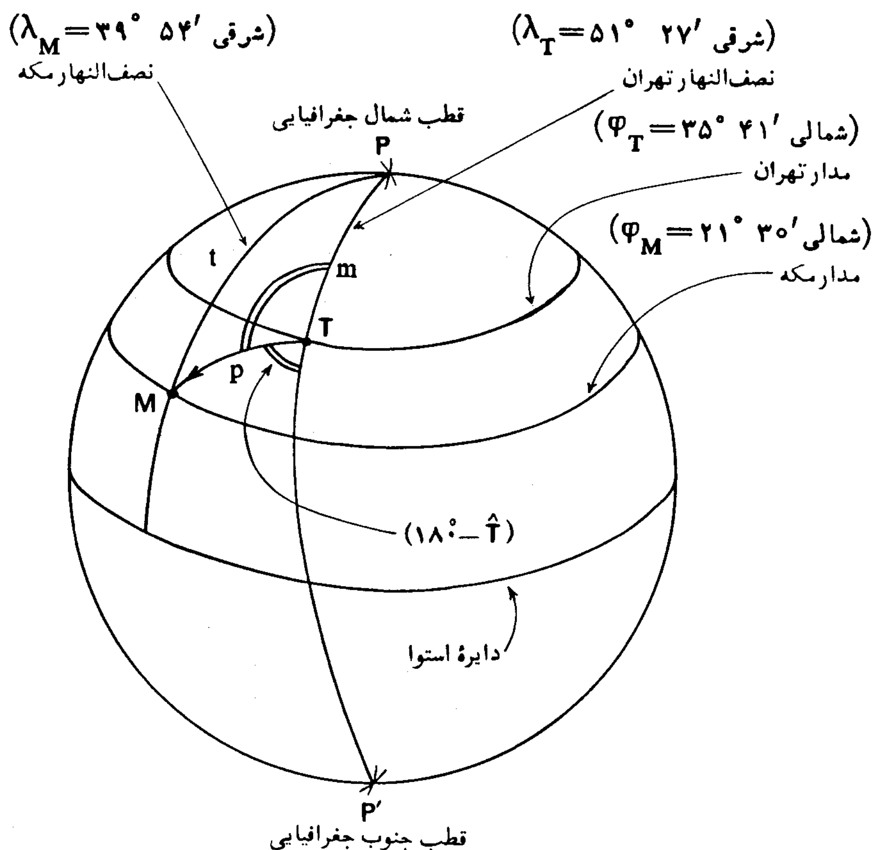
فرض می‌شود که مختصات جغرافیایی کعبه بصورت زیر باشد:

$\lambda_M = ۳۹° \ ۵۴'$ شرقی $\qquad$ $\varphi_M = ۲۱° \ ۳۰'$ شمالی

**راه حل** — چون در این روش، از روابط مثلثات کروی استفاده می‌شود، بناچار فرض می‌شود که شکل زمین کاملاً کروی است، و مختصات جغرافیایی داده شده را بر روی چنین کره‌ای منطبق می‌کنیم. در فصول بعدی راجع به‌تأثیر شکل واقعی زمین دراساس این روش، بحث خواهد شد.

با قبول فرض کروی بودن زمین، چنانکه در شکل (۱-۵) نشان داده شده، مسئله بصورت تعیین جهت نقطهٔ M، در مکه، از نقطهٔ T، در تهران، درمی‌آید، که این دقیقاً همان مثال (۲-۴)، مذکور در فصل چهارم است.

در شکل (۱-۵)، جهت نقطهٔ M بعنوان کعبه، از نقطهٔ T، در تهران، عبارت از




شکل (۱-۵) — نمایش جهت قبله در تهران بر روی کرهٔ زمین، مثال (۱-۵).

زاویهٔ کروی $(\hat{T}=\widehat{PTM})$ است. امّا چنانکه مشاهده می‌شود، زاویهٔ T نسبت به امتداد شمال جغرافیایی، سنجیده شده است و لذا زاویهٔ جهت قبله نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی برابر است با:

$$\widehat{MTP'}=۱۸۰^\circ-\hat{T}$$

با بکار بردن فرمولهای مناسب مثلثات کروی، می‌توان زاویهٔ کروی $\hat{T}$ را به شرح زیر محاسبه کرد:

$$\tan\frac{T+M}{۲}=\frac{\cos\frac{(t-m)}{۲}}{\cos\frac{(t+m)}{۲}}\cot\frac{P}{۲}$$

$$\tan\frac{T-M}{۲}=\frac{\sin\frac{(t-m)}{۲}}{\sin\frac{(t+m)}{۲}}\cot\frac{P}{۲}$$

که درآنها،

$$m=\widehat{PT}=۹۰^\circ-\varphi_T=۹۰^\circ-(۳۵^\circ۴۱')=۵۴^\circ۱۹'$$

$$m=۵۴^\circ/۳۱۶۶۷$$

$$t=\widehat{PM}=۹۰^\circ-\varphi_M=۹۰^\circ-(۲۱^\circ۳۰')=۶۸^\circ/۵$$

$$\frac{t-m}{۲}=\frac{۶۸^\circ/۵-(۵۴^\circ۱۹')}{۲}=۷^\circ۵'/۵=۷^\circ/۰۹۱۶۷$$

$$\frac{t+m}{۲}=\frac{۶۸^\circ/۵+(۵۴^\circ۱۹')}{۲}=۶۱^\circ۲۴'/۵=۶۱^\circ/۴۰۸۳۳$$

(لازم است تذکر داده شود که در این محاسبات از ماشین حساب الکترونیکی که در درسالهای اخیر درسطح وسیعی رواج یافته، استفاده شده است.)

$$\hat{P}=\widehat{MPT}=\lambda_T-\lambda_M=(۵۱^\circ۲۷')-(۳۹^\circ۵۴')$$

$$\hat{P} = ۱۱^\circ ۳۳' = ۱۱^\circ/۵۵$$

$$\frac{\hat{P}}{۲} = \frac{۱۱^\circ ۳۳'}{۲} = ۵^\circ ۴۶'/۵ = ۵^\circ/۷۷۵$$

درنتیجه با بکاربردن مقادیر مربوطه درفرمولهای فوق، داریم:

$$\tan\frac{(T+M)}{۲} = \frac{\cos(۷^\circ ۵'/۵)}{\cos(۶۱^\circ ۲۴'/۵)}\cot(۵^\circ ۴۶'/۵)$$

$$\tan\frac{(T+M)}{۲} = ۲۰/۵۰۳۱۹۳$$

$$\frac{T+M}{۲} = ۸۷^\circ/۲۰۷۷۳۲$$

و

$$\tan\frac{(T-M)}{۲} = \frac{\sin(۷^\circ ۵'/۵)}{\sin(۶۱^\circ ۲۴'/۵)}\cot(۵^\circ ۴۶'/۵)$$

$$\tan\frac{(T-M)}{۲} = ۱/۳۹۰۲۴۸۱$$

$$\frac{T-M}{۲} = ۵۴^\circ/۲۷۲۶۸۴$$

که درنتیجه

$$\hat{M} = ۳۲^\circ/۹۳۵۰۴۸$$

$$\hat{T} = ۱۴۱^\circ/۴۸۰۴۱$$

لذا جهت قبله در نقطهٔ مورد نظر در تهران نسبت به‌جهت جنوب جغرافیایی برابر است با:

$$(۱۸۰^\circ - \hat{T}) = ۱۸۰^\circ - ۱۴۱^\circ/۴۸۰۴۱ = ۳۸^\circ/۵۱۹۵۹$$

$$= ۳۸^\circ \quad ۳۱' \quad ۱۰''/۵۲$$

نتیجهٔ محاسبه را می‌شود بصورت ذیل کنترل کرد:

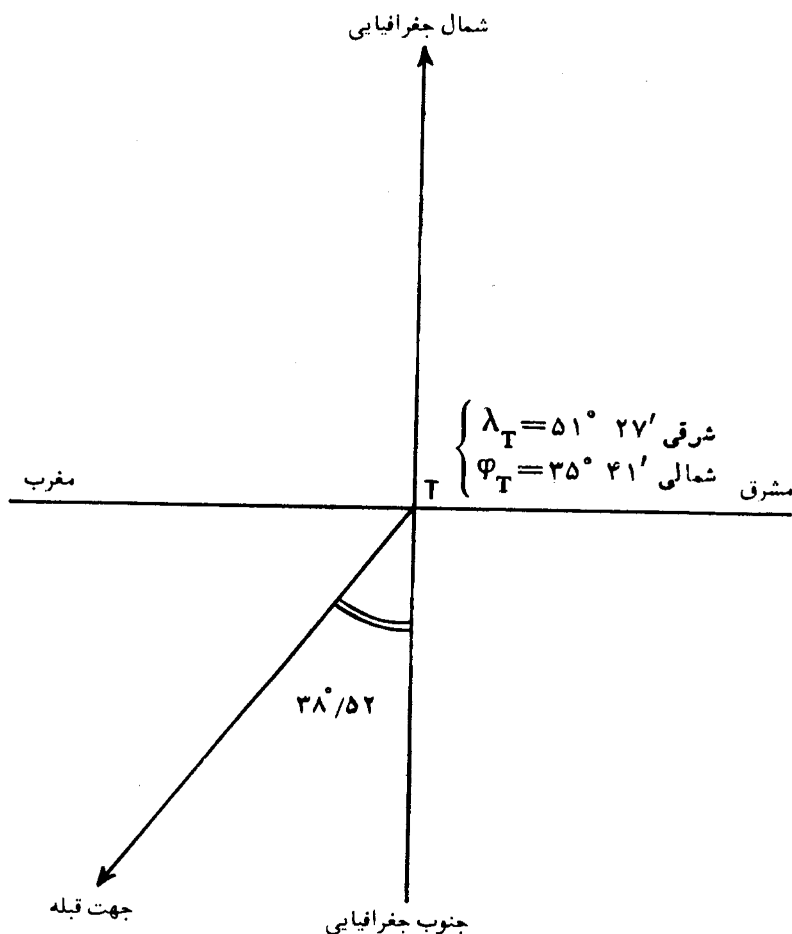
$$\frac{\sin t}{\sin T} = \frac{\sin m}{\sin M}$$

$$\frac{\sin t}{\sin T}=\frac{\sin(۶۸^\circ/۵)}{\sin(۱۴۱^\circ/۴۸۰۴۱)}=۱/۴۹۳۹۶۹۵$$

$$\frac{\sin m}{\sin M}=\frac{\sin(۵۴^\circ ۱۹')}{\sin(۳۲^\circ/۹۳۵۰۴۸)}=۱/۴۹۳۹۶۹۶$$

که برابری روابط فوق نشانگر صحت محاسبات قبلی است.

با اندکی دقت در شکل (۱-۵)، دریافته می‌شود که جهت قبله در تهران در جهت جنوب غربی است و لذا چنانکه در شکل (۲-۵) نمایانده شده است، جهت قبله




شکل (۲-۵) — جهت قبله در نقطه‌ای در تهران نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی.

در این نقطه در تهران، با فرض کروی شکل بودن زمین، نسبت به‌جهت جنوب جغرافیایی، ۳۸°/۵۲ به‌سمت مغرب است.

در اینجا، لازم است، مجدداً به‌مثال (۲ـ۴) در فصل چهارم کتاب، برگردیم. مختصات انتخاب‌شده برای نقاط A و B در تهران، به‌ترتیب درحدود مختصات جغرافیایی مکه و تهران، عمداً در نظر گرفته شدند. یعنی مختصات جغرافیایی نقاط A و B با تقریب حدود ′۳۰ به‌ترتیب، برابر مختصات جغرافیایی مکه و تهران است. امّا اندازهٔ زاویهٔ کروی $\widehat{ABP}$ ، در شکل (۶ـ۴)، برابر (۳۵°/۶۱) است. با مقایسهٔ این نتیجه، با حاصل زاویهٔ کروی (۳۸°/۵۲) = $\widehat{MTP}$ ، در شکل (۱ـ۵)، درمی‌یابیم که نتیجهٔ محاسبه تا چه حدّ بستگی به‌دقت درمقادیر مربوط به‌طول و عرض جغرافیایی دارد

نتیجه آنکه در روش محاسبهٔ جهت قبله، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، می‌بایست مختصات جغرافیایی محل موردنظر و خانهٔ کعبه، دقیقاً معلوم باشند.

## ۲ ــ ۵. تعیین جهت قبله با روش ترسیمی

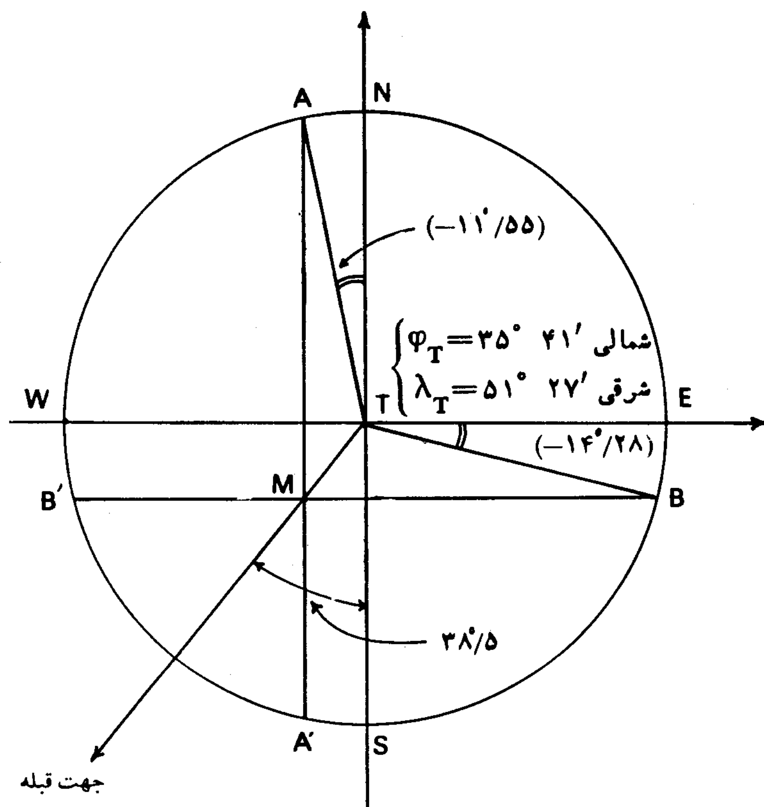
شاید انجام محاسبات قبلی در مواردی برای همهٔ افراد، ممکن نباشد. اگر چه کاربرد ماشینهای حساب الکترونیکی در سطح وسیعی توسعه یافته و دیگر نیازی به‌استفاده از جدول لگاریتم، برای محاسبات مثلثاتی، نیست، امّا با استفاده از روش ترسیمی، می‌توان در بعضی نقاط به‌نتایج خوبی رسید. روش ترسیمی را نیز با ذکرمثالی پی می‌گیریم:

**مثال (۲ ــ ۵) ــ جهت قبله در تهران، روش ترسیمی:** جهت قبله را برای مقادیر مثال (۱ ــ ۵)، با استفاده از روش ترسیمی تعیین کنید.

**راه‌حل** ــ با توجه به‌شکل (۳ ــ ۵)، مراحل کار به‌شرح زیر است:

الف ــ دایره‌ای مانند دایرهٔ NESW رسم کنید و فرض کنید که نقطه‌موردنظر (T) در مرکز آن باشد. شعاع این دایره اختیاری است، امّا دایره‌ای بزرگتر جواب دقیقتری را بدست می‌دهد.

ب ــ فرض کنید که قطرNS امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و قطر عمود بر آن در نقطهٔT، یعنی EW امتداد مشرق مغرب جغرافیایی باشد. یعنی نقاطN ، E، S وW تشکیل چهار جهت اصلی را داده‌اند. سپس قطرهایNS و EW را بعنوان محورهای




شکل (۳ـ۵) — تعیین جهت قبله در نقطه‌ای در تهران با روش ترسیمی.

مختصات دستگاه مختصات دکارتی[1] در نظر بگیرید.

ج — کمان $\widehat{EB}$ را برابر اختلاف جبری عرضهای جغرافیایی نقاط M و T جدا کنید:

$$\widehat{EB} = E\hat{T}B = ۲۱°/۵ - ۳۵°/۶۸ = -۱۴°/۱۸$$

این مقدار در حقیقت فاصلهٔ زاویه‌ای[2] بین دو مدار دو نقطه است. سپس خط BB′ را موازی محور WE رسم کنید.

1. Cartesian Co-Ordinate System  2. Angular Distance

د– کمان $\widehat{NA}$ را برابر اختلاف جبری طولهای جغرافیایی نقاط M و T جدا کنید:

$$\widehat{NA}=\hat{NTA}=۳۹°/۹-۵۱°/۴۵=-۱۱°/۵۵$$

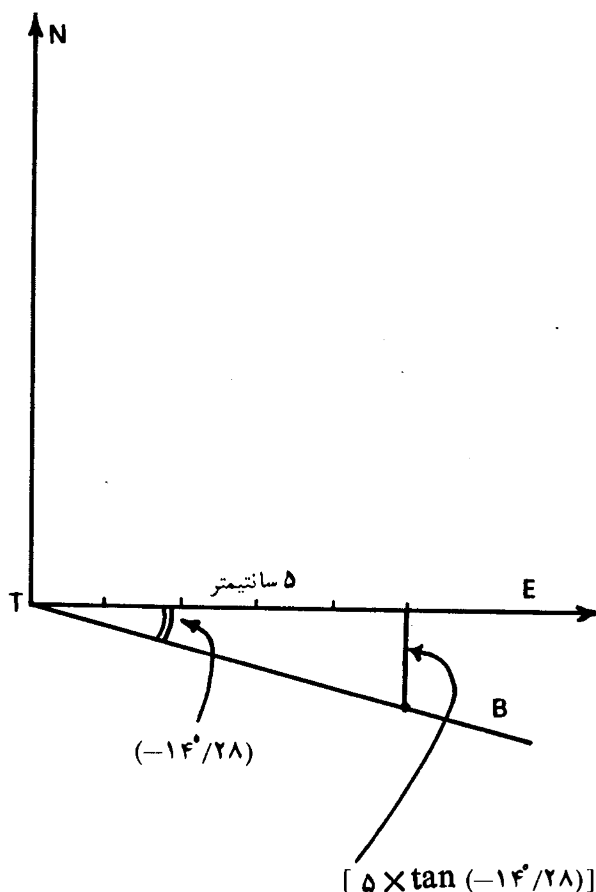
درحقیقت این مقدار برابر با فاصلهٔ زاویه‌ای بین نصف‌النهارهای دونقطه است. سپس خط 'AA را به‌موازات محور NS رسم کنید.

زوایای $\hat{ETB}$ و $\hat{NTA}$ را ممکن است با استفاده از یک‌نقاله جدا کرد. امّا برای دقت بیشتر می‌توان تانژانت زاویه را محاسبه کرده، ازطریق ترسیمی با استفاده از تانژانت زاویه، زاویه را جدا کرد. بدین‌ترتیب که: طول مشخصی را از مبدأمختصات بر روی محور موردنظر جدا کرده، آنگاه اندازهٔ طول آن را در تانژانت زاویهٔ مربوط ضرب می‌کنیم. سپس، از انتهای طول جدا شده، خطی عمود بر محور، برابر با حاصلضرب بدست آمده، در جهت مورد نظر، رسم می‌کنیم. از اتصال انتهای این خط به‌مبدء مختصات، زاویهٔ مورد نظررسم می‌گردد. این روش برای رسم زاویهٔ $\hat{ETB}=-۱۴°/۲۸$ درشکل (۴ـ۵) نشان داده شده است.

هـ– خط AA، خط 'BB را در نقطه‌ای مانند M قطع می‌کند. از اتصال نقطهٔ M، به نقطهٔ T جهت قبله بدست می‌آید. یعنی خط TM جهت قبله در نقطهٔ مورد نظر است. زاویهٔ $\hat{MTS}$ انحراف قبله نسبت به‌امتداد جنوب جغرافیایی را به‌طرف مغرب نشان می‌دهد.

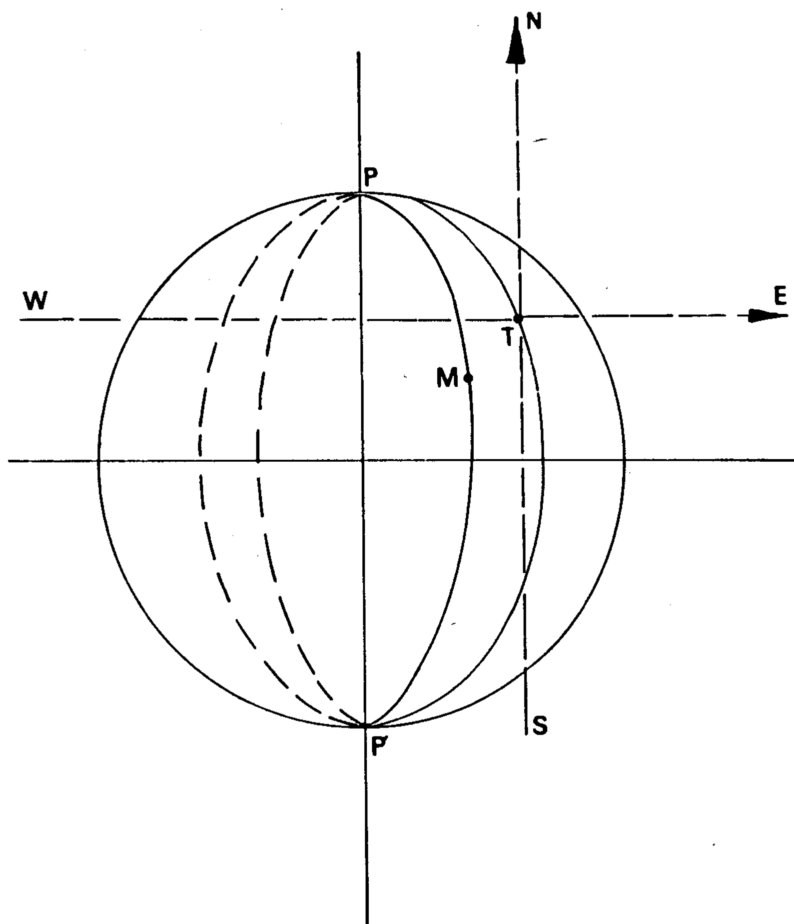
اندازهٔ زاویهٔ $\hat{MTS}$ در این مثال تقریباً برابر با ۳۸°/۵ است (اندازه‌گیری با نقاله) که تقریباً با نتیجهٔ محاسبه (۳۸°/۵۲) برابراست. اما چنانکه درمثالهای بعدخواهیم دید، همیشه نتیجهٔ روش ترسیمی، با نتیجهٔ روش محاسبه از راه مثلثات کروی، یکی نیست وگاهی میزان اختلاف خیلی زیاد است. هرچه فاصلهٔ محل مورد نظر بر روی زمین، از مکهٔ معظمه بیشتر باشد، اختلاف نتیجهٔ دو روش، بیشتر خواهد بود.

اساس کار این روش درشکل (۵ـ۵) نمایانده شده است، بدین ترتیب که: دو محور مختصات عمود بر هم در نقطهٔ مورد نظر یعنی نقطهٔ T، طوری رسم شده است که محور عمودی آن در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و محور افقی آن در امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی محل قرار دارند. بنابراین با توجه به‌این دو محور مختصات، مختصات نقطهٔ T صفر بوده و وضعیت مکهٔ معظمه (نقطهٔ M)، با توجه به‌جهتهای مربوط، از راه




شکل (۴ـ۵)—رسم زاویه با طریقهٔ ترسیمی.

تفاوت جبری مختصات جغرافیری نقطهٔ T و نقطهٔ M بدست می‌آیند. به‌بیانی دیگر، در این روش، سطح زمین بین نقاط T و M بصورت مسطح فرض می‌شود، که فرض درستی نیست. این مطلب در فواصل کمتر، ممکن است خطای زیادی را موجب نگردد. امّا در فواصل زیادتر میزان خطا بیشتر بوده، نتیجهٔ روش ترسیمی با نتیجهٔ محاسبه از راه مثلثات کروی اختلاف بیشتری را نشان خواهد داد. فاصلهٔ محل مورد نظر از مکهٔ معظمه را می‌توان با اختلاف طول و عرض جغرافیایی آنها بیان کرد. اگر این تفاوت زیاد باشد، میزان اختلاف نتیجه ها، بیشتر و اگر کم باشد کمتر خواهد شد.




شکل (۵-۵) — اساس بدست آوردن جهت قبله با روش ترسیمی.

یک محدودیت دیگر این روش اینست که فاصلهٔ زاویه‌ای محل مورد نظر، و مکهٔ معظمه، از نظر طول و عرض جغرافیایی، نباید از ۹۰ درجه بیشتر باشد.

برای درک بیشتر محدودیت این روش، چند محل، با وضعیتهای مختلف را بر روی زمین انتخاب می‌کنیم و جهت قبله را برای آنها، با دو روش مزبور، بدست آورده، نتیجه‌ها را مقایسه می‌کنیم. شهرهای مربوط، در جهت‌های مختلف نسبت به مکهٔ معظمه انتخاب شده‌اند.

همچنین درطی یک مثال، اثر خطای یک درجه نسبت به‌جهت صحیح قبله را مورد بررسی قرارمی‌دهیم.

**مثال (۳-۵) — جهت قبله در بمبئی[1]، در هندوستان:** جهت قبله را در نقطه‌ای از بمبئی در هندوستان، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست می‌آوریم:

$$\varphi_B = ۱۸°۵۵'$$ شمالی $$\lambda_B = ۷۲°۵۰'$$ شرقی

مختصات جغرافیایی کعبه را، مانند مثالهای قبلی را درنظر بگیرید.

**راه حل** — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکهٔ معظمه و بمبئی به‌شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_B = ۲۱°/۵ - ۱۸°/۹۲ = +۲°/۵۸$$

$$\lambda_M - \lambda_B = ۳۹°/۹ - ۷۲°/۸۳ = -۳۲°/۹۳$$

نتیجهٔ روش ترسیمی که درشکل (۶-۵) نشان داده شده است، جهت قبله را (۸۵°/۵) درجه در مغرب امتداد شمال جغرافیایی بدست می‌دهد. درحالیکه نتیجهٔ محاسبه از راه مثلثات کروی، (۷۹°/۵۲) درجه است.

دیده می‌شود که کاربرد روش ترسیمی، در این مثال قابل قبول نیست و میزان خطا زیاد است. در اینگونه موارد، برای اجتناب از محاسبات، می‌توان روش استفاده از کرهٔ جغرافیایی را که دربخش بعدی خواهد آمد، بکار گرفت.

**مثال (۴-۵)— جهت قبله درصنعا:** جهت قبله را درنقطه‌ای درشهر صنعا[2] در یمن[3]، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

$$\varphi_S = ۱۵°۲۷'$$ شمالی $$\lambda_S = ۴۴°۱۲'$$ شرقی

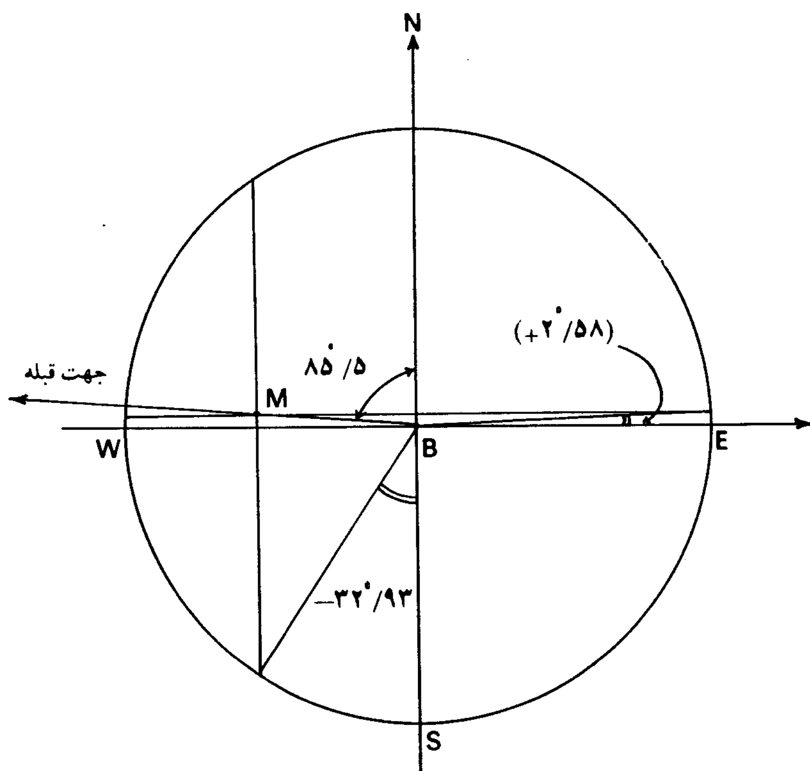
**راه حل** — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکّه و صنعا به‌شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_S = ۲۱°/۵ - ۱۵°۲۷' = +۶°/۰۵$$

$$\lambda_M - \lambda_S = ۳۹°/۹ - ۴۴°۱۲' = -۴°/۳$$

نتیجهٔ روش ترسیمی، با توجه به‌شکل (۷-۵)، (۳۴°/۳) درمغرب جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجهٔ روش مثلثات کروی (۳۳°/۳۳) درجه است. تفاوت دو روش درحدود یک درجه است.

1. Bombay 2. Sana 3. Yemen




**شکل (۶-۵)— جهت قبله در نقطه‌ای در شهر بمبئی در هندوستان، با روش ترسیمی.**

**مثال (۵-۵)— جهت قبله در مانیل، در فیلیپین:** جهت قبله را در نقطه‌ای از شهر مانیل[1] در کشور فیلیپین[2]، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

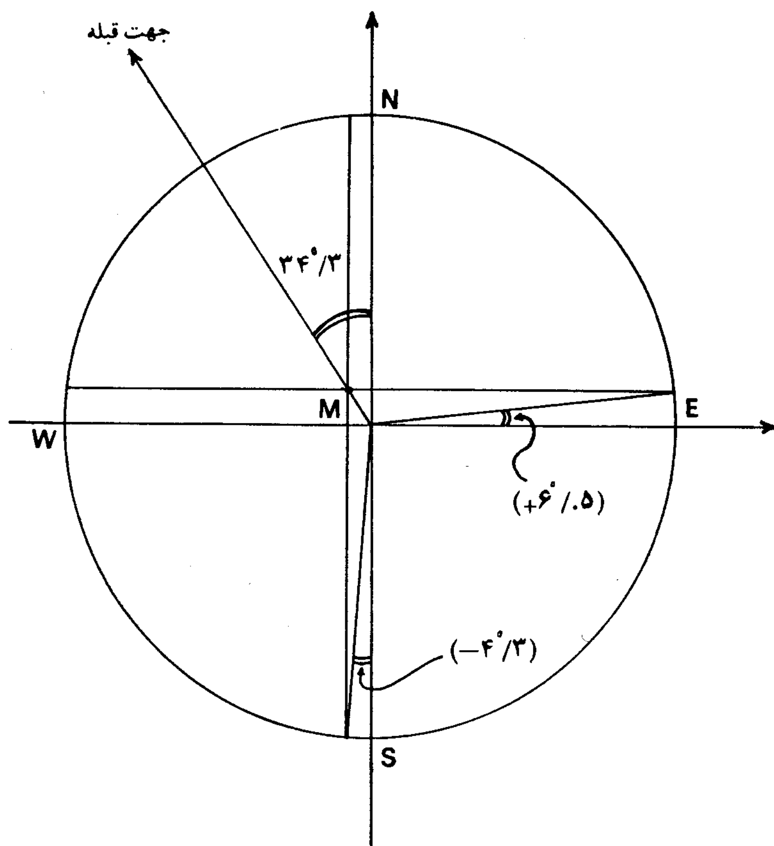
$\varphi_{Man.} = ۱۴°۴۰'$ شمالی $\qquad \lambda_{Man.} = ۱۲۱°۳'$ شرقی

**راه حل**— اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و مانیل به‌شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_{Man.} = ۲۱°/۵ - ۱۴°۴۰' = +۶°/۸۳$$

$$\lambda_M - \lambda_{Man.} = ۳۹°/۹ - ۱۲۱°۳' = -۸۱°/۱۵$$

1. Manila 2. Philippines



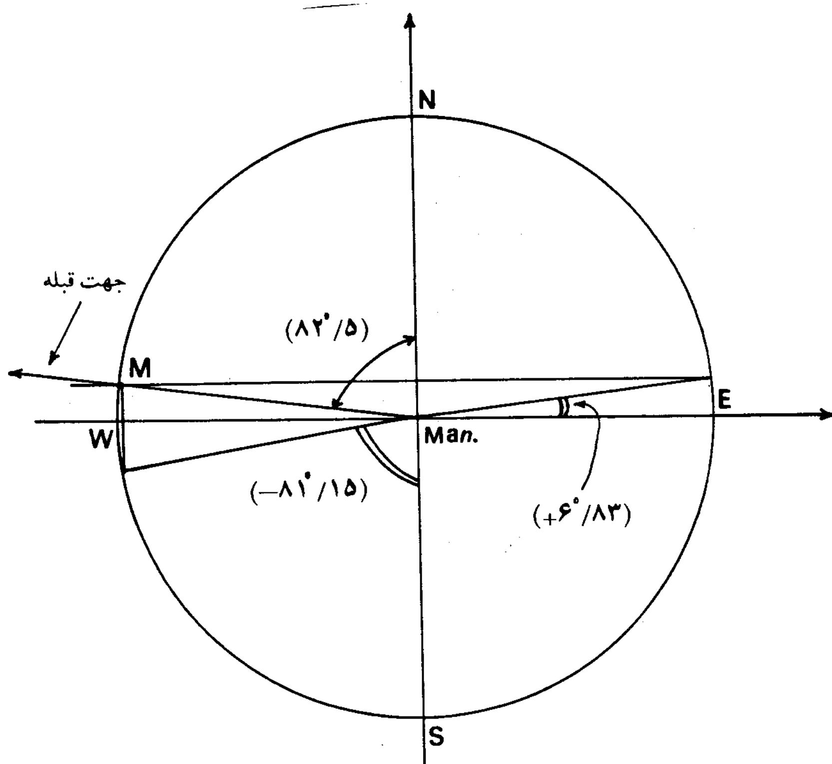

شکل (۵ـ۷) ــ جهت قبله در نقطه‌ای در صنعا در یمن، با روش ترسیمی.

نتیجهٔ روش ترسیمی، شکل (۸ـ۵)، (۸۲°/۵) درجه در مغرب شمال جغرافیایی است، درحالیکه نتیجهٔ روش مثلثات کروی (۷۰°/۹) درجه است. دیده می‌شود که تفاوت نتیجهٔ دو روش زیاد است و روش ترسیمی را نباید بکار برد.

**مثال (۶ـ۵) ــ جهت قبله درخرطوم:** جهت قبله را در نقطه‌ای از شهر خرطوم[1] درسودان[2]، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_K = ۱۵°۳۱'\ \text{شمالی} \qquad \lambda_K = ۳۲°۳۵'\ \text{شرقی}$$

1. Khartoum 2. Sudan




**شکل (۵-۸)— جهت قبله در نقطه‌ای در مانیل در فیلیپین، با روش ترسیمی.**

**راه حل**— اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکّه و خرطوم به‌شرح زیر است:

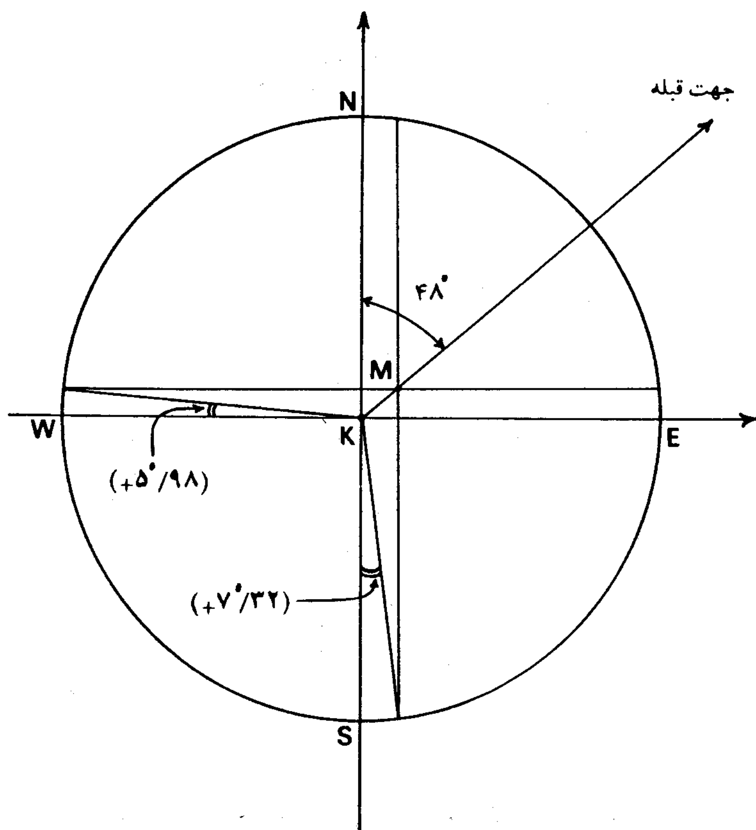
$$\varphi_M - \varphi_K = ۲۱°/۵ - ۱۵°۳۱' = +۵°/۹۸$$

$$\lambda_M - \lambda_K = ۳۹°/۹ - ۳۲°۳۵' = +۷°/۳۲$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۹)، جهت قبله ۴۸° درجه در مشرق شمال جغرافیایی است، درحالیکه نتیجهٔ محاسبه از راه مثلثات کروی، (۴۸°/۱۱) درجه است. دیده می‌شود که اختلاف نتیجهٔ دو روش کم است.

**مثال (۵-۷)— جهت قبله در آتن:** جهت قبله را در نقطه‌ای در آتن[1] در یونان[2]،

1. Athens 2. Greece




شکل (۹-۵) — جهت قبله در نقطه‌ای در خرطوم در سودان، با روش ترسیمی.

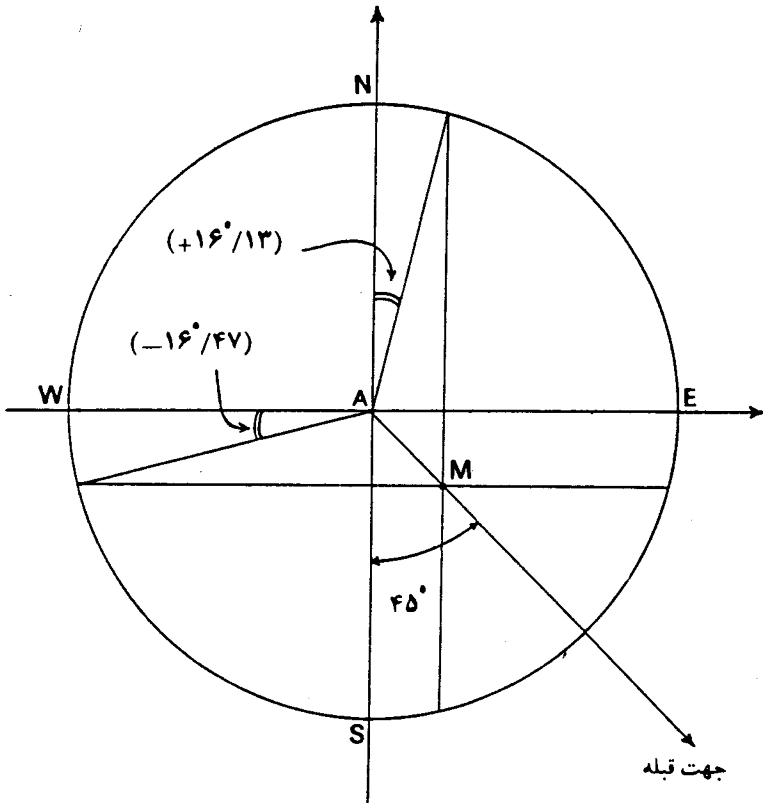
با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید:

$\varphi_A =$ ۳۷°۵۸′ شمالی $\lambda_A =$ ۲۳°۴۶′ شرقی

راه حل —

$\varphi_M - \varphi_A =$ −۱۶°/۴۷

$\lambda_M - \lambda_A =$ +۱۶°/۱۳




شکل (۱۰-۵)—جهت قبله با روش ترسیمی در نقطه‌ای در آتن در یونان.

با روش ترسیمی، شکل (۱۰-۵)، جهت قبله (۴۵°) درجه در مشرق جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجهٔ محاسبه از راه مثلثات کروی، (۴۴°/۷۴) درجه است. دیده می‌شود که اختلاف دو نتیجه کم است.

**مثال (۸-۵)—جهت قبله در استکهلم:** جهت قبله را در نقطه‌ای در استکهلم[1] درسوئد[2]، با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید:

$$\varphi_{St.} = ۵۹°۱۷' \text{ شمالی} \qquad \lambda_{St.} = ۱۸°۳' \text{ شرقی}$$

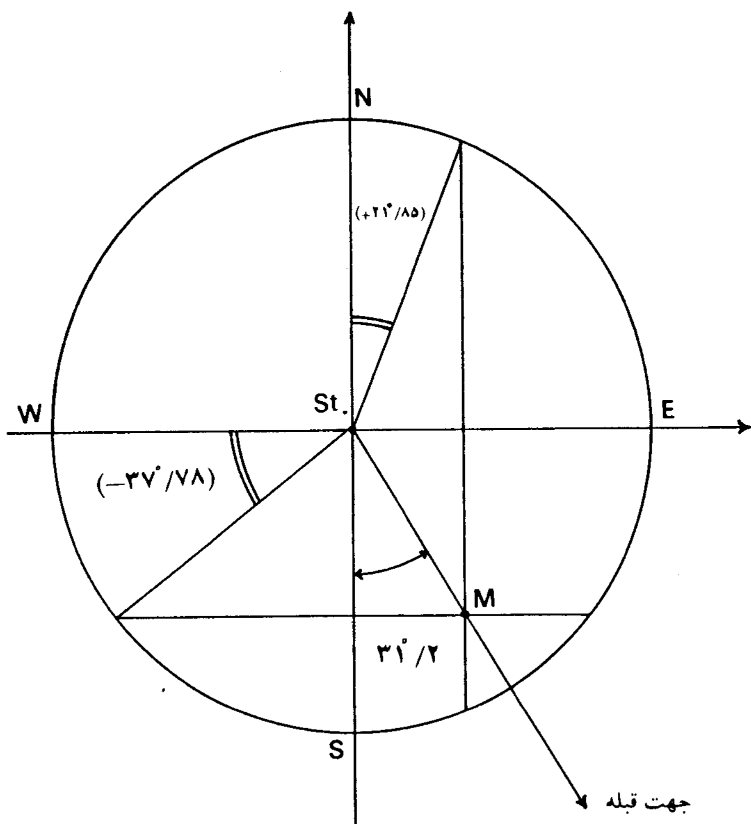
1. Stockholm 2. Sweden

راه‌حل —

$$\varphi_M - \varphi_{St.} = -۳۷°/۷۸$$

$$\lambda_M - \lambda_{St.} = +۲۱°/۸۵$$

با روش ترسیمی، شکل (۱۱-۵)، جهت قبله (۳۱°/۲) درجه در مشرق جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجهٔ محاسبه از راه مثلثات کروی ۳۱°/۹۵ است که اختلاف دو نتیجه، کمتر از یک درجه است.




شکل (۱۱-۵)—جهت قبله با روش ترسیمی، در نقطه‌ای در استکهلم در سوئد.

**مثال (۹-۵)— جهت قبله در سانفرانسیسکو:** جهت قبله را در نقطه‌ای در

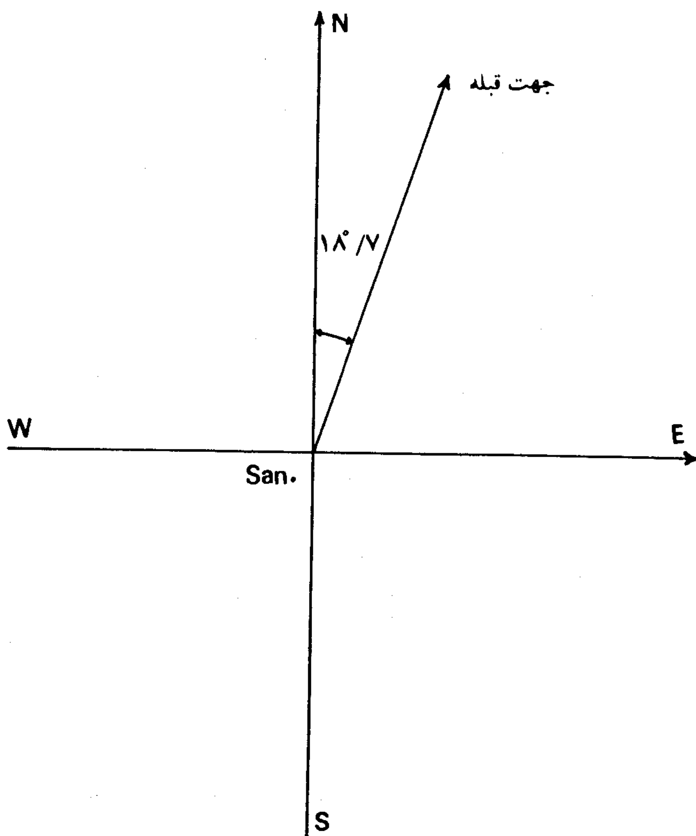
سانفرانسیسکو[1] در آمریکا، با مختصات زیر بدست آورید.

$\varphi_{San.} = ۳۷°۳۵'$ شمالی $\lambda_S = ۱۲۲°۳۰'$ غربی

**راه‌حل** — $\varphi_M - \varphi_{San.} = ۲۱°/۵ - ۳۷°/۵۸ = -۱۶°/۰۸$

$\lambda_M - \lambda_{San.} = +۳۹°/۹ - (-۱۲۲°/۵) = ۱۶۲/۴$

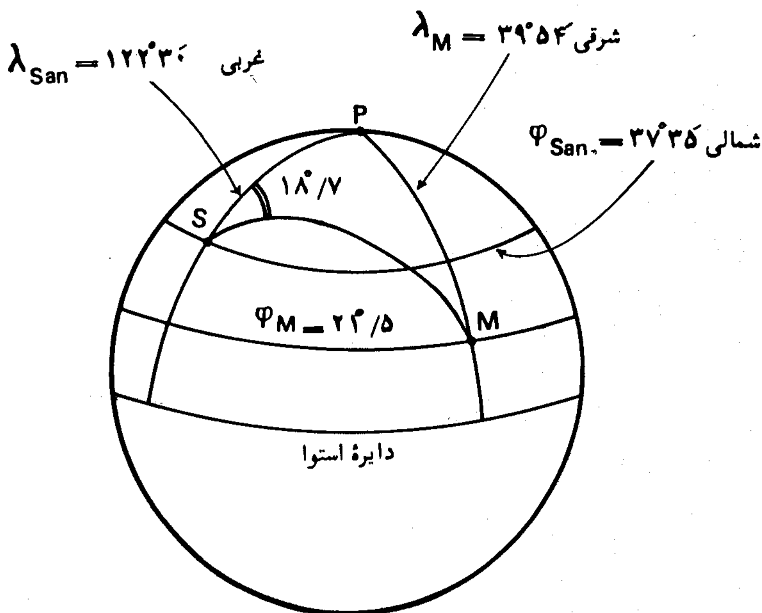
در این مثال دیده می‌شود که فاصلهٔ محل و مکّهٔ معظمه، از نظر طول جغرافیایی، از ۹۰ درجه بیشتر است و روش ترسیمی نمی‌تواند کاربرد داشته باشد. با روش محاسباتی، جهت قبله در سانفرانسیسکو، ۱۸°/۷ در مشرق شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۲).




شکل (۵-۱۲)—جهت قبله در نقطه‌ای در سانفرانسیسکو. این جهت با روش محاسبه از راه مثلثات کروی بدست آمده است.

1. San Francisco

جهت بدست آمده در سانفرانسیسکود رآمریکا، جالب توجه است. چه با مقایسهٔ طول و عرض جغرافیایی سانفرانسیسکوو مکهٔ معظمه، با توجه به‌اینکه‌مدارسانفرانسیسکو ($\varphi_{San.}=۳۷°۳۵'$ شمالی) درشمال مدار مکهٔ معظمه ($\varphi_{M}=۲۱°/۵$ شمالی) قرار دارد، ممکن است تصور شود که جهت قبله درسانفرانسیسکومی‌بایست در مشرق جنوب جغرافیایی باشد و نه درمشرق شمال جغرافیایی. امّا چنین تصوری درست نیست و نتیجهٔ محاسبه، صحیح است. این اشتباه از آنجا ناشی می‌شود که با مقایسهٔ عرضهای جغرافیایی، زمین، بصورت مسطح تصور می‌شود، و این نکته که فاصلهٔ زاویه‌ای سانفرانسیسکوو مکّهٔ معظمه درحدود ۱۶۲°/۴ است، فراموش می‌گردد. چنانکه قبلا توضیح داده شد، برای یافتن جهت قبلهٔ یک محل، می‌بایست مسیر کوتاهترین فاصلهٔ بین آن و مکهٔ معظمه، یعنی مسیر دایرهٔ عظیمه را درنظرگرفت. شکل (۱۳ـ۵)، صحت نتیجهٔ محاسبه را آشکارمی‌سازد. دیده می‌شود که دراین شکل، دایرهٔ عظیمه‌ای که از مکهٔ معظمه و سانفرانسیسکومی‌گذرد، درمحل سانفرانسیسکو(نقطهٔ S) درشمال مدار آن ($\varphi=۳۷°۳۵'$ شمالی) قرارمی‌گیرد و بنابراین جهت قبله درآنجا درمشرق شمال




**شکل (۱۳ـ۵) — جهت قبله درسانفرانسیسکو، نشان داده شده بر روی کره. این جهت درمشرق شمال جغرافیایی قرار دارد.**

جغرافیایی است. در اینگونه موارد استفاده از روش کرهٔ جغرافیایی، که بعداً بیان می‌شود، نتیجه را بهتر مشخص می کند.

**مثال (۵-۱۰)—جهت قبله در بوگوتا:** جهت قبله را در نقطه‌ای در بوگوتا[1] در کلمبیا[2]، با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید.

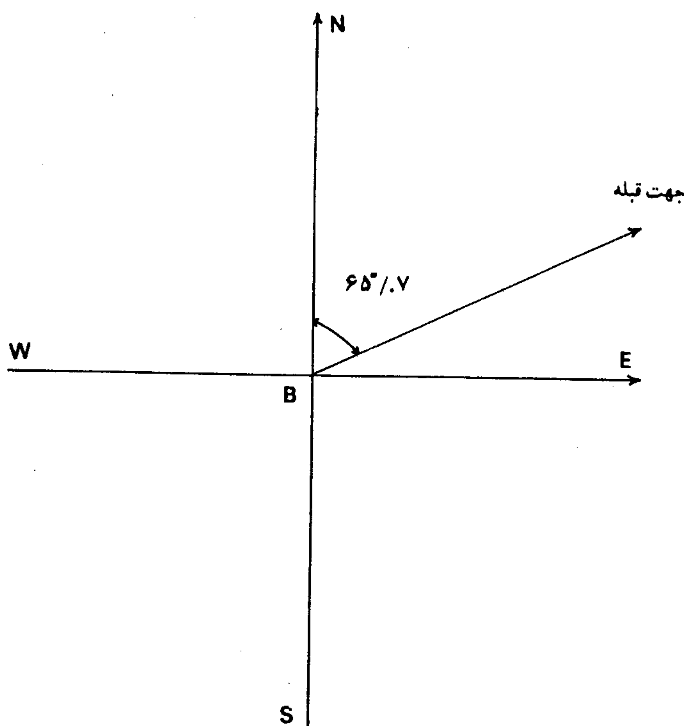
$\varphi_B = ۴°۳۴'$ شمالی $\lambda_B = ۷۴°$ غربی

**راه حل—**

$$\varphi_M - \varphi_B = ۱۶°/۹۳$$

$$\lambda_M - \lambda_B = ۳۹°/۹ - (-۷۴°) = ۱۱۳°/۹$$

دیده می‌شود که فاصلهٔ نقطه مورد نظر و مکه، از نظر طول جغرافیایی بیشتر از ۹۰ درجه است و لذا نمی‌شود روش ترسیمی را بکار گرفت. با روش محسبه از راه مثلثات کروی، جهت قبله (۶۵°/۰۷) در مشرق شمال جغرافیایی قرار دارد، شکل (۵-۱۴).




شکل (۵-۱۴)—جهت قبله در نقطه‌ای در بوگوتا، محاسبه شده از راه مثلثات کروی.

1. Bogota 2. Colombia

**مثال (۵-۱۱) — جهت قبله در پرنامبوکو:** جهت قبله را در نقطه‌ای در پرنامبوکو[1] (رسایف) در برزیل[2]، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

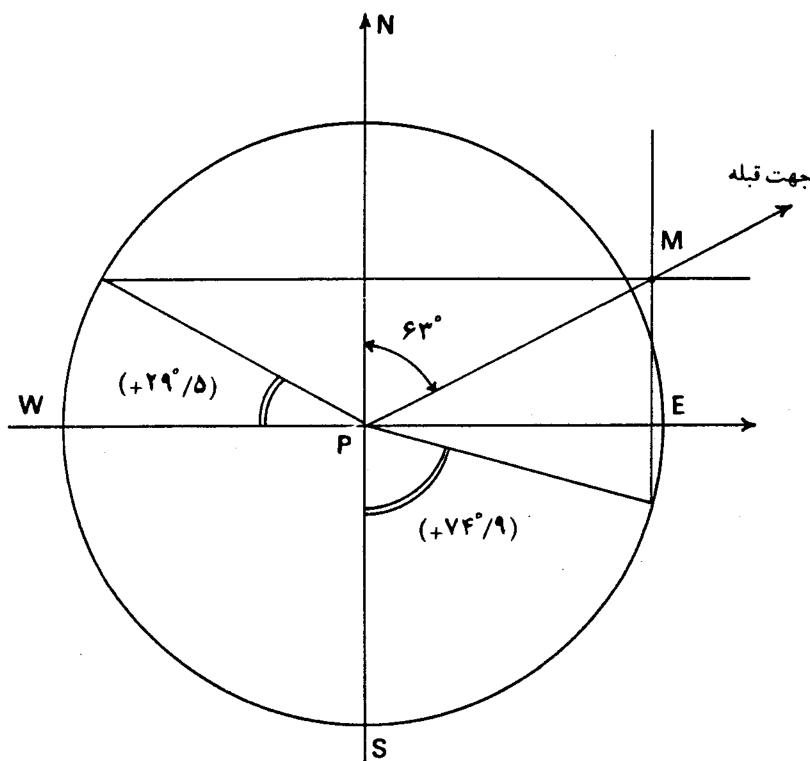
$\varphi_P = ۸°۰'$ جنوبی $\qquad \lambda_P = ۳۵°۰'$ غربی

**راه حل** —

$\varphi_M - \varphi_P = ۲۱°/۵ - (-۸°) = ۲۹°/۵$

$\lambda_M - \lambda_P = ۳۹°/۹ - (-۳۵°) = ۷۴°/۹$

با روش ترسیمی، (شکل ۱۵-۵)، جهت قبله، (°۶۳) درجه در مشرق امتداد شمال جغرافیایی است، درحالیکه با محاسبه از راه مثلثات کروی، (°۶۶/۱۷) درجه بوده‌ومیزان اختلاف درحدود °۳ است.




شکل (۱۵-۵) — جهت قبله در نقطه‌ای در پرنامبوکو، با روش ترسیمی.

1. Pernambuco (Recife) 2. Brazil

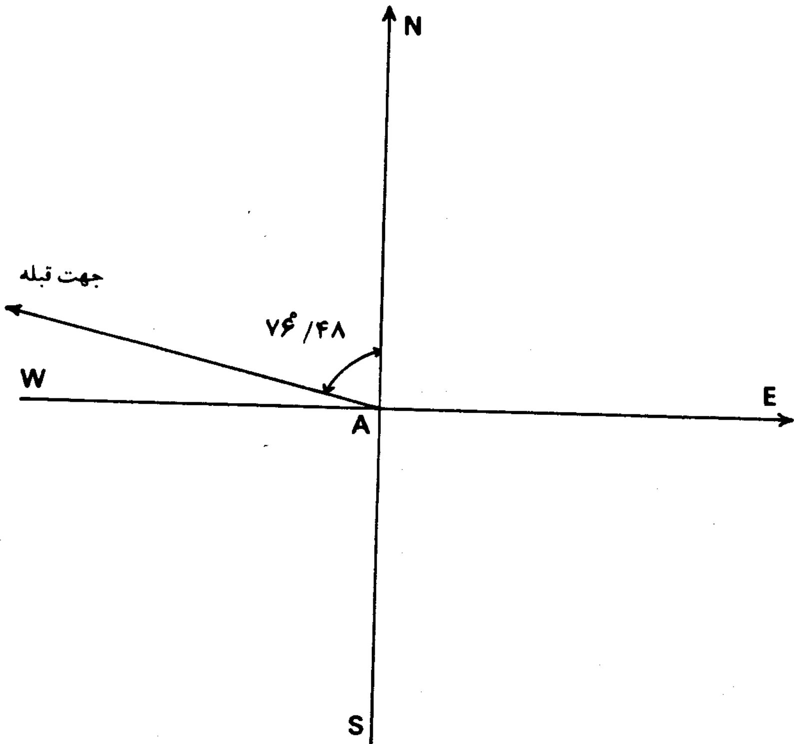
**مثال (۱۲-۵)—جهت قبله در آدلائید:** جهت قبله را در نقطه‌ای در آدلائید[1] در استرالیا[2]، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_A = ۳۴°۵۲' \text{ جنوبی} \qquad \lambda_A = ۱۳۸°۳۰' \text{ شرقی}$$

**راه‌حل –** $\varphi_M - \varphi_A = ۲۱°/۵ - (-۳۴°/۸۶) = +۵۶°/۳۷$

$$\lambda_M - \lambda_A = ۳۹°/۹ - ۱۳۸°/۵ = -۹۸°/۶$$

تفاوت زاویه‌ای بین دو نصف‌النهار از ۹۰° بیشتر است و لذا روش ترسیمی را نمی‌توان بکار برد. اما از راه محاسبه با روش مثلثات کروی، جهت قبله، ۷۶°/۴۸ در مغرب شمال جغرافیایی است، شکل (۱۶-۵).




شکل (۱۶-۵)—جهت قبله در آدلائید، بدست آمده از راه محاسبه با مثلثات کروی.

1. Adelaide 2. Australia

**مثال (۵-۱۳)— جهت قبله د ر طرابوزان:** جهت قبله را در نقطه‌ای در طرابوزان[1] در ترکیه، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

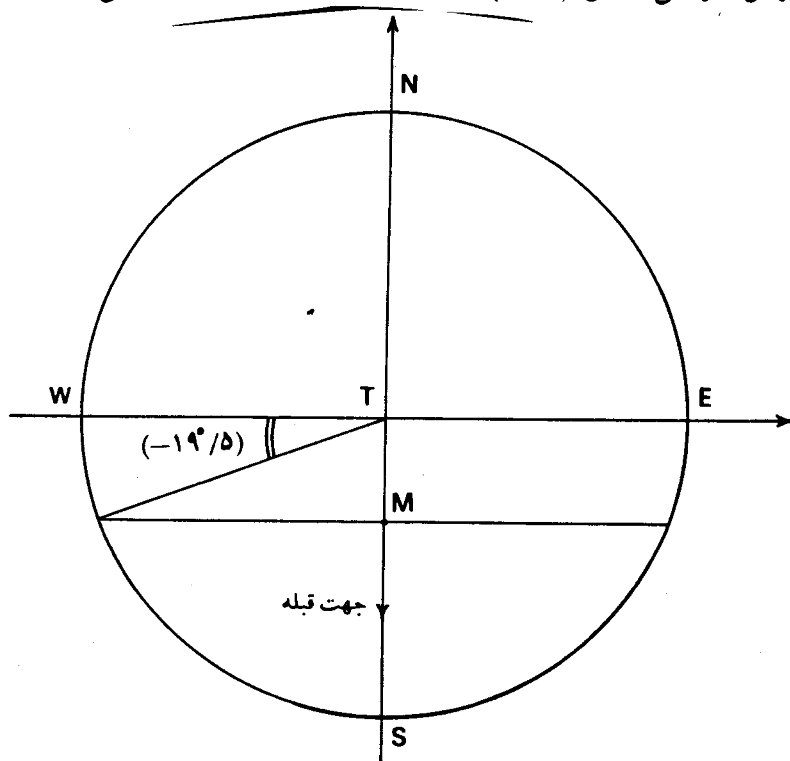
$\varphi_T = ۴۱°۰'$ شمالی $\lambda_T = ۳۹°۴۵'$ شرقی

**راه حل**— در این مثال طول جغرافیایی (شرقی $\lambda_T = ۳۹°/۷۵$) تقریباً برابر با طول جغرافیایی مکه (شرقی $\varphi_M = ۳۹°/۹$) است. بنابراین طرابوزان و مکه تقریباً بر روی یک نصف‌النهار قرار دارند.

$\lambda_M - \lambda_T = ۳۹/°۹ - ۳۹°/۷۵ = +۰/۱۵$ درجه

$\varphi_M - \varphi_T = ۲۱°/۵ - ۴۱° = -۱۹°/۵$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۱۷)، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی است، در




شکل (۵-۱۷)— جهت قبله در نقطه‌ای در طرابوزان، با روش ترسیمی.

1. Trabzon

حالیکه با روش مثلثات کروی، (۰/۴۱ درجه) در مشرق جنوب جغرافیایی قرار دارد، که تقریباً نتیجه دو روش برابر است.

درحالتی که طول جغرافیایی محلی دقیقاً برابر طول جغرافیایی مکهٔ معظمه باشد، امتداد قبله درآنجا بر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل خواهد افتاد. چنانکه محل مورد نظر، درشمال مکه واقع باشد، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی و اگر محل در جنوب مکه قرار گرفته باشد، جهت قبله، در امتداد شمال جغرافیایی قرار خواهد داشت. علت این امر، ازآنجا ناشی می‌شود که درچنین حالتی، دایرهٔ عظیمه‌ای که از محل مورد نظر و مکهٔ معظمه گذر می‌کند بر دایرهٔ نصف‌النهار محل منطبق می‌گردد.

این مطلب برای مناطق واقع بر نصف‌النهار (غربی $\lambda = ۱۴۰°۶'$) نیز صادق است. این نصف‌النهار مکمل درجه‌ای نصف‌النهار مکه است $(۱۸۰° - ۳۹°۵۴' = ۱۴۰°۶')$ که در اقیانوس آرام[1] قرار داشته و از منتهی‌الیه شمال غربی کشور کانادا می‌گذرد. جهت قبله برای مناطق واقع بر نصف‌النهار ۱۴۰ درجه و ۶ دقیقهٔ غربی بر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی منطبق است. برای نقاط واقع بر این نصف‌النهار که در شمال مدار (۲۱°/۵ جنوبی) قرار دارند، جهت قبله در امتداد شمال جغرافیایی، و برای نقاطی که در جنوب این مدار واقع شده‌اند، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی است.

**مثال (۵-۱۴)—جهت قبله در هانوئی:** جهت قبله را در نقطه‌ای در هانوئی[2] در ویتنام[3]، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_H = ۲۱°۵' \text{ شمالی} \qquad \lambda_H = ۱۰۵°۴۰' \text{ شرقی}$$

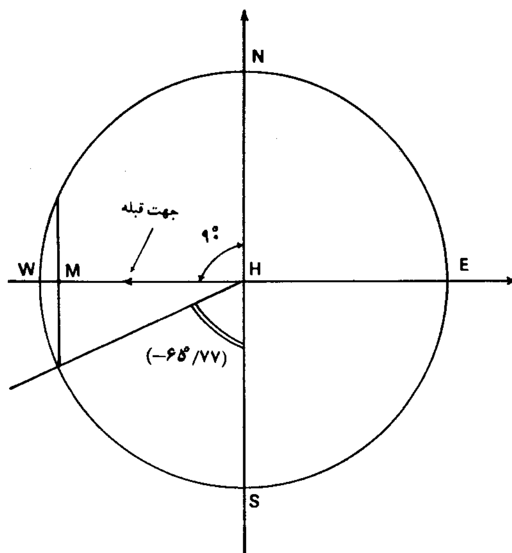
**راه‌حل**—عرض جغرافیایی این نقطه تقریباً برابر با عرض جغرافیایی مکه است:

$$\varphi_M - \varphi_H = ۲۱°/۵ - ۲۱°/۰۸۳ = ۰/۴۱۷ \text{ درجه}$$

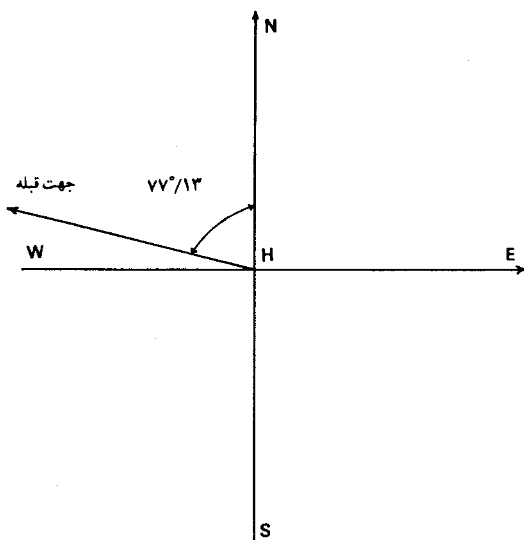
$$\lambda_M - \lambda_H = ۳۹°/۹ - ۱۰۵°/۶۷ = -۶۵°/۷۷$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۱۸)، جهت قبله در امتداد مغرب جغرافیایی است، در حالیکه با روش محاسبه با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، (۷۷°/۱۳) در مغرب شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۹). بنابراین اختلاف نتیجهٔ دو روش، بسیار زیاد است و روش ترسیمی قابل قبول نیست.

1. Pacific Ocean 2. Hanoi 3. Vietnam




**شکل (۵-۱۸)— جهت قبله در نقطه‌ای در هانوئی، با روش ترسیمی.**




**شکل (۵-۱۹)— جهت قبله در هانوئی، بدست‌آمده از راه محاسبه با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی.**

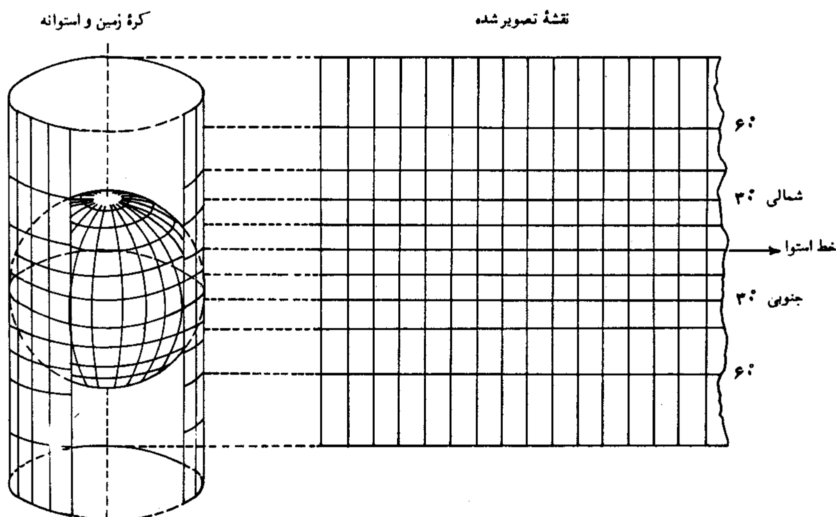
برای درکِ بهترِ علت زیادی اختلاف نتیجهٔ دو روش، به‌مثالهای (۳ـ۴) و (۴ـ۴) در فصل چهارم برمی‌گردیم. این مثالها قبلا به‌منظور استفاده در همین قسمت داده شده‌اند. مختصات نقاط مذکور در آن دو مثال، تقریباً برابر با مختصات جغرافیایی این مثال‌اند. در آن دو مثال، کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه، محاسبه شد که در امتداد دایرهٔ عظیمه‌ای که از آنها می‌گذرد، قرار داشت و مسیر مدار مشترک دو نقطه دارای طول بیشتری است. همچنین در مثال (۵ـ۴) دیدیم که بیشترین فاصلهٔ نصف‌النهاری دو مسیر (مسیر دایرهٔ عظیمه و مسیر مدار مشترک) درحدود ۴۰۰ کیلومتر است. مسیر مدار مشترک، همان جهت شرقی غربی را نشان می‌دهد که نتیجهٔ روش ترسیمی است. لذا با توجه به‌این نکات، بعلت بعد مسافت هانوئی و مکهٔ معظمه که تقریباً بر روی یک مدار مشترک ($\varphi = ۲۱\frac{۵}{}$) قرار دارند، نتیجهٔ روش ترسیمی، صحیح نیست.

این مطلب برای تمام مکانهای دیگری که بر روی مدار مکهٔ معظمه واقع‌اند نیز صحت دارد و در این گونه موارد جهت قبله در امتداد مدار مشترک و یا خط شرقی غربی قرار نداشته، بلکه می‌بایست با روش محاسبه از راه مثلثات کروی در امتداد دایرهٔ عظیمهٔ مربوط، محاسبه گردد. البته اگر محل مورد نظر بر روی مدار مکهٔ معظمه، در نزدیکی مکه قرار داشته باشد و یا فاصلهٔ زاویه‌ای مربوط به‌طولهای جغرافیایی آنها کم باشد، در اینصورت، جهت قبله به‌امتداد خط شرقی غربی نزدیکتر خواهد شد.

ممکن است بعضی از نقشه‌های جغرافیایی که در آنها مکهٔ معظمه در مغرب هانویی قرار دارد، این نتیجه را بدست دهد که جهت قبله، در هانوئی در سمت مغرب است. این اشتباه، بعلت سیستم تصویر نقشه است. نقشه‌هایی که با دستگاه تصویر استوانه‌ای و یا مرکاتور[1] کشیده می‌شوند، موجب این اشتباه، می‌گردند. در این روش تصویر، کرهٔ زمین را در امتداد دایرهٔ استوا، درون استوانه‌ای مماس می‌کنند و عمل تصویر از مرکز زمین بر روی استوانه، صورت می‌پذیرد، سپس استوانهٔ تصویر در امتداد یکی از یالها بریده و بصورت یک نقشهٔ مسطح نمایانده می‌شود، شکل (۲۰ـ۵).

در این روش تصویر، دایرهٔ استوا بصورت خطی مستقیم و افقی در وسط نقشه درمی‌آید و مدارات نیز بصورت خطوط مستقیم و موازی بصورتی نمایانده می‌شوند که که هرچه از خط استوا دورتر می‌شوند بر فاصلهٔ آنها از یکدیگر افزوده می‌گردد و نصف‌النهارها نیز بصورت خطوطی موازی و با فاصلهٔ مساوی، عمود بر خط استوا نشان داده می‌شوند.

1. Mercator's Projection




**شکل (۲۰-۵) — سیستم تصویر مرکاتور و یا استوانه‌ای.**

مناطقی که پیرامون دایرهٔ استوا قرار دارند، پس از تصویر، شکل واقعی خود را تا اندازه‌ای حفظ می‌کنند و هرچه از مناطق استوایی دور شویم، شکل تصویر شده، از شکل واقعی آن بر روی کرهٔ زمین فاصله می‌گیرد، تا جائی که دو قطب زمین که در بی‌نهایت تصویر شده‌اند بکلّی شکل واقعی خود را ازدست داده ، بصورت خطی مستقیم درمی‌آیند.

در مقایسهٔ این سیستم تصویر با کرهٔ جغرافیایی که نمودار شکل واقعی زمین است، کافی است کوتاهترین فاصلهٔ بین توکیو و نیویورک را در نظر بگیریم. کوتاهترین فاصلهٔ بین این دو شهر از نزدیکیهای قطب شمال عبور می‌کند، درحالیکه بر روی نقشه‌های جهان‌نمای مسطح که با روش استوانه‌ای تصویر شده‌اند، راه مزبور تقریباً مسیری شرقی ـ غربی و به‌موازات خط استواست.

با این توضیحات مشاهده می‌شود که اساس سیستم تصویر استوانه‌ای بر این نکته متکی است که خطوط مدارات (خطوط شرقی غربی) و نصف‌النهارات (خطوط شمالی جنوبی) بصورت خطوط مستقیم و عمود بر هم رسم می‌شوند. لذا دو محل با

عرضهای جغرافیایی برابر بر امتداد خط شرقی غربی قرارمی‌گیرند. به همین علت هانویی و مکهٔ معظمه در چنین نقشه هایی بر امتداد خط شرقی غربی (مدار مشترک آنها) قرار دارند و دیدیم که کوتاهترین فاصلهٔ بین آنها در این امتداد نبوده و بلکه در امتداد دایرهٔ عظیمه‌ای است که از آنها عبور می کند. بنابراین جهت قبله در نقطهٔ مربوط، در هانویی در امتداد خط شرقی غربی نبوده و با توجه به‌نتیجهٔ محاسبه (۷۷°/۱۳) در مغرب شمال جغرافیایی و یا (۲۲°/۸۷) درشمال امتداد مغرب جغرافیایی واقع است.

با توجه به‌مثالهای داده شده، بسادگی می‌توان دریافت که روش ترسیمی، همیشه نتیجهٔ درستی را بدست نمی‌دهد و فقط درموارد خاصی که فاصلهٔ‌محل مورد نظر و یا فاصلهٔ زاویه‌ای مربوط به‌طول و عرض جغرافیایی آن از مکهٔ معظمه، نسبتاً زیاد نباشد، می‌تواند کاربرد، داشته باشد.

همچنین در این مثالها، اختلاف نتیجهٔ دو روش با درجه، بیان می‌شد، در بخش بعدی میزان خطایی که یک درجه اشتباه در جهت قبله می‌تواند بوجود آورد، مورد بحث قرارمی‌گیرد:

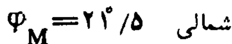
## ۳ــ۵. خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله

تا اینجای مطلب، چگونگی بدست‌آوردن جهت قبله از راه محاسبه و ترسیم را دیدیم و همچنین چگونگی برابری نتیجهٔ دو روش، ملاحظه شد. درطی مثال بعدی، میزان خطای یک درجه درجهت قبله مورد بررسی قرارمی‌گیرد:

**مثال (۱۵ـ۵) ــ اشتباه یک درجه در جهت قبله:** اگر جهت قبله در نقطه‌ای در تهران با مختصات جغرافیایی زیر، یک درجه اشتباه باشد، اثر آن چیست؟

$$\lambda_T = ۵۱°۲۷'\ \text{شرقی} \qquad \varphi_T = ۳۵°۴۱'\ \text{شمالی}$$

**راه حلّ** ــ درشکل (۲۱ـ۵)، نقطهٔ M نمایانگر محل مکهٔ معظمه و نقطهٔ T نمایانگر تهران است. کمان $\widehat{MT}$ قسمتی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از این دو نقطه می‌گذرد. فرض می کنیم که جهت امتداد کمان $\widehat{MT}$، جهت صحیح قبله در تهران باشد و جهت کمان $\widehat{M'T}$ به‌سوی نقطه‌ای مانند M' در نزدیکی مکهٔ معظمه باشد، بصورتی که زاویهٔ $\widehat{MTM'}$ برابر یک درجه بوده، $\widehat{MT} = p$ و $\widehat{TM'M} = ۹۰°$ باشد. در اینصورت اگر اندازهٔ کمان $\widehat{MM'}$ درمثلث کروی قائم‌الزاویهٔ $MM'T$ محاسبه شود، جواب مسئله بدست می‌آید.




**شکل (۲۱ـ۵) — اثر خطای یک درجه در جهت قبلهٔ تهران.**

در مثلث کروی PMT ، می‌توانیم رابطهٔ زیر را بنویسیم:

$$\cos P = \frac{\cos p - \cos t \cos m}{\sin t \sin m}$$

امّا

$$P = \lambda_T - \lambda_M = ۵۱°/۴۵ - ۳۹°/۹ = ۱۱°/۵۵$$

$$m = ۹۰° - \varphi_T = ۹۰° - (۳۵°۴۱') = ۵۴°/۳۱۶۶۶۷$$

$$t = ۹۰° - \varphi_M = ۹۰° - ۲۱°/۵ = ۶۸°/۵$$

$$\cos(۱۱^\circ/۵۵) = \frac{\cos p - \cos(۶۸^\circ/۵)\cos(۵۴^\circ/۳۹۶۶۶۷)}{\sin(۶۸^\circ/۵)\sin(۵۴/^\circ۳۱۶۶۷)}$$

$$\cos p = ۰/۹۵۴۲۱۳$$

$$p = ۱۷^\circ/۴۰۵۲۳۵$$

در مثلث کروی قائم‌الزاویهٔ $MM'T$ با استفاده از روابط نپر خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{MM'} = \cos(۹۰^\circ - \widehat{MT})\cos(۹۰^\circ - \widehat{MTM'})$$

$$\sin \widehat{MM'} = \cos(۹۰^\circ - ۱۷^\circ/۴۰۵۲۳۵)\cos ۸۹^\circ$$

$$\widehat{MM'} = ۰/۲۹۹۱۱۳۴ \text{ درجه}$$

$$\text{طول } \widehat{MM'} = \frac{\pi \times (۶۳۷۰) \times ۰/۲۹۹۱۱۳۴}{۱۸۰}$$

$$\text{طول } \widehat{MM'} = ۳۳/۲۵۴۶۷ \text{ کیلومتر}$$

این بدان معنی است که چنانکه نمازگزاری در تهران، فقط با یک درجه اشتباه در امتداد قبله بایستد، او به‌سمت محلی در (۳۳/۲۵) کیلومتری مکه قرار گرفته است.

به‌همین ترتیب می‌توان میزان اثر خطای یک درجه را برای محلهای دیگر محاسبه کرد. این مقدار خطا برای تهران است و میزان اثر خطا، بستگی به‌اندازهٔ کمان دایرهٔ عظیمه‌ای که از نقطهٔ مورد نظر و مکهٔ معظمه می‌گذرد، دارد. طول کمان دایرهٔ عظیمه، بسادگی با محاسبهٔ طول کمان (p) بدست می‌آید، که درمورد تهران در این مثال، طول آن (۱۹۳۵/۰۷) کیلومتر است.

## ۴ــ۵. تعیین امتداد قبله، با استفاده از کرهٔ جغرافیایی

با استفاده از یک کرهٔ جغرافیایی دقیق که منقوش به‌دوایر مدارات و نصف‌النهارات باشد، می‌توان سمت قبلهٔ یک محل را تعیین کرد.

در مرحلهٔ اوّل باید دقت کرهٔ جغرافیایی را سنجید. برای این کار کافی است که کنترل کنیم که آیا مختصات جغرافیایی محل مورد نظر و مکهٔ معظمه بر روی کره صحیح است و یا خیر. همچنین می‌توانیم مختصات جغرافیایی چند محل شناخته شده را که طول و عرض جغرافیایی آنها مشخص است، بر روی کرهٔ جغرافیایی، کنترل کنیم.

این بدان جهت است که بعضی از کره های جغرافیایی موجود، دارای دقت لازم نیستند.

روش استفاده از کرهٔ جغرافیایی برای جهت‌یابی قبله، چنانکه با مهارت انجام شود، سریع بوده و احتمال اشتباه در آن، کم است. وسایل مورد لزوم در این روش یک رشته نخ نازک و محکم و یا یک صفحهٔ کاغذ با لبهٔ صاف و مستقیم، یک کرهٔ جغرافیایی دقیق و یک نقاله است. بعد از مطمئن شدن از دقیق بودن کرهٔ جغرافیایی، محل مکهٔ معظمه و شهر مورد نظر را بر روی آن مشخص می کنیم. آنگاه نخ نازک و محکمی را بین شهر مورد نظر و مکهٔ معظمه از دو سر، محکم بر روی کره می کشیم. زاویهٔ نخ، با امتداد نصف‌النهار شهر مورد نظر، جهت قبله را معین می کند. می‌توان زاویه را مستقیماً بر روی کره، توسط نقاله، اندازه‌گیری کرد و یا زاویهٔ مربوط را بر روی یک صفحهٔ کاغذ منتقل کرده، سپس آن را اندازه‌گیری نمود. نلغزیدن نخ در این روش، عامل مهمی است، بخصوص اگر فاصلهٔ شهر مورد نظر و مکهٔ معظمه زیاد باشد، یعنی انحنای بیشتری بر روی کره داشته باشیم، نخ می‌تواند بسادگی بر روی کره، لغزیده و در نتیجهٔ کار، تولید اشتباه کند. چه، باید توجه داشت که نخ کشیده شده بر روی کره، باید قسمتی از دایرهٔ عظیمهٔ عبور داده شده بر شهر مورد نظر و مکهٔ معظمه باشد و لذا لغزیدن نخ، آن را از اینحالت خارج می‌سازد و تولید اشتباه می کند. برای اینکه دریابیم که آیا نخ کشیده شده بر دایرهٔ عظیمهٔ مربوط، منطبق است یا خیر، کافی است که از طرف شهر مورد نظر، امتداد نخ را با یک چشم نشانه کنیم؛ درصورتی که کمان نخ در یک راستا و یا صفحه، بصورت مستقیم دیده شود، نخ بر دایرهٔ عظیمهٔ مربوط منطبق است.

بجای نخ، می‌توان از لبهٔ صاف و مستقیم یک صفحهٔ کاغذ استفاده کرد. بدین ترتیب که لبهٔ مستقیم و صاف کاغذ را در راستای محل مورد نظر و مکهٔ معظمه قرار داده و دو سر آن را محکم می کشیم. زاویهٔ بین لبهٔ کاغذ و دایرهٔ نصف‌النهار محل، جهت قبله را مشخص می کند.

این روش با وجود ساده بودن، نتایج خوبی را بدست می‌دهد. در حقیقت این طریقه، روش عملی محاسبه، با استفاده از روابط مثلثات کروی است. لذا در این روش نیز فرض بر اینست که زمین کاملا به‌شکل کره باشد.

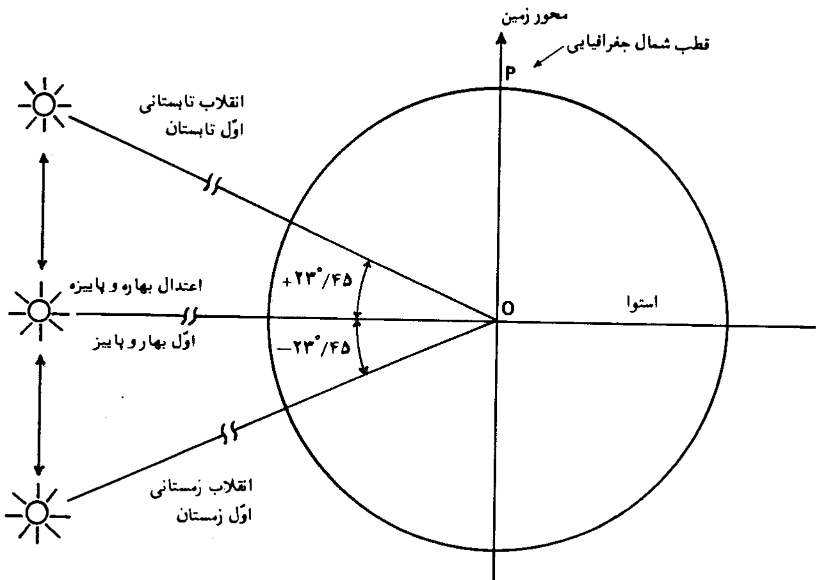
### ۵ــ۵. تعیین جهت قبله از راه سایهٔ یک میلهٔ قائم و یا نخ یک شاقول در اوقات معین

این روش تعیین قبله، بر اندازهٔ میل خورشید استوار است. میل خورشید در

فصل ششم این کتاب به‌تفصیل آمده است. در این بخش، ابتدا بصورت مختصر راجع به‌میل خورشید و تغییرات آن در طول سال توضیح داده می‌شود. بعلت حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید، خطی که مرکز زمین را به‌مرکز خورشید وصل می‌کند، همیشه درسطح دایرهٔ اکلیپتیک[1] و یا دایرة‌البروج حرکت می‌کند.

میل خورشید عبارتست از زاویه‌ای که خط واصل بین مرکز زمین و مرکز خورشید با سطح دایرهٔ استوا، در مرکز زمین، می‌سازد و با حرف یونانی دلتا[2] ($\delta$) نمایانده می‌شود. چنانکه خط مزبور در شمال دایرهٔ استوا باشد علامت ($\delta$) مثبت و اگر در جنوب آن باشد، علامت میل خورشید منفی است. مقادیر میل خورشید از (۴۵/°۲۳−) در اوّل زمستان و یا انقلاب زمستانی[3] تا (۴۵/°۲۳+) در اوّل تابستان و یا انقلاب تابستانی[4] متغیر است و در اوّل بهار و پاییز و یا اعتدال بهاری و پاییزی[5] اندازهٔ آن، صفر است، شکل (۵-۲۲).

بنابراین میل خورشید یک کمیت متغیر بوده و اندازهٔ آن، حتی در طول روز هم متفاوت است.




شکل (۵-۲۲)— تغییرات میل خورشید در طول سال.

1. Ecliptic 2. Delta 3. Winter Solstice 4. Summer Solstice
5. Spring and Autumn Equinoxes

با توجه به‌مقادیر میل خورشید که برای روزهای سال میلادی در جدول شمارهٔ (۱-۶)، در فصل ششم، داده شده است، می‌بینیم که در روز بیست‌ونهم ماه مه (روز هشتم خرداد ماه در سال ۱۳۶۴ هجری شمسی) میل خورشید ($\delta = ۲۱°۳۱'$) و در روزشانزدهم ماه ژوئیه (بیست‌وپنجم تیرماه درسال ۱۳۶۴) میل خورشید ($\delta = ۲۱°۲۸'$) است. اگر عرض جغرافیایی مکهٔ معظمه را ($\varphi = ۲۱°/۵$) فرض کنیم، می‌بینیم که دوبار درسال، در تاریخهای مذکور در فوق، میل خورشید تقریباً برابر با عرض جغرافیایی مکه است ($\delta \simeq \varphi = ۲۱°/۵$). یک‌بار بهنگامی است که خورشید از نقطهٔ اعتدال بهاری بسوی انقلاب تابستانی می‌رود و بار دیگر وقتی است که از نقطهٔ انقلاب تابستانی، دوباره بسوی نقطهٔ اعتدال پاییزی برمی‌گردد.

ازطرفی دیگر فرمول شماره (۱-۱) درفصل اوّل بصورت زیر بیان شد:

$$a = ۹۰° - \varphi \pm \delta$$

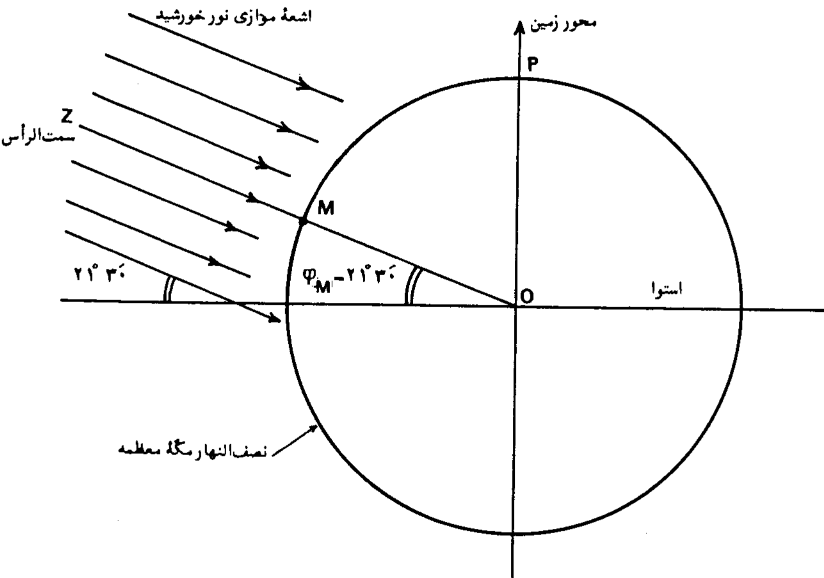
پارامتر (a) ارتفاع خورشید در لحظهٔ عبور از نصف‌النهار و یا ارتفاع نصف‌النهاری[1] آنست. بنابراین وقتی که درمکه معظمه ($\varphi_M = \delta$) باشد، درنتیجه ($a = ۹۰°$) است. این بدان معنی است که وقتی که میل خورشید برابر عرض جغرافیایی مکه باشد، خورشید درسمت‌الرأس مکه قرار خواهد داشت. بنابراین دوبار درسال، در تاریخهای مذکور در فوق، خورشید تقریباً درسمت‌الرأس مکهٔ معظمه قرار می‌گیرد، شکل (۵-۲۳).

نکتهٔ قابل توجه اینکه در فرمول فوق، از اثر شکست نور در اتمسفر کرهٔ زمین صرفنظر شده است. البته درمورد تصحیح مربوط به‌شکست نور[2] در فصل ششم توضیح داده شده است و در فرمول فوق، هنگامی که ارتفاع خورشید ۹۰ درجه است، شکست نور، دیگر اثری ندارد. دراین مورد درفصل هشتم کتاب نیز بحث خواهد شد.

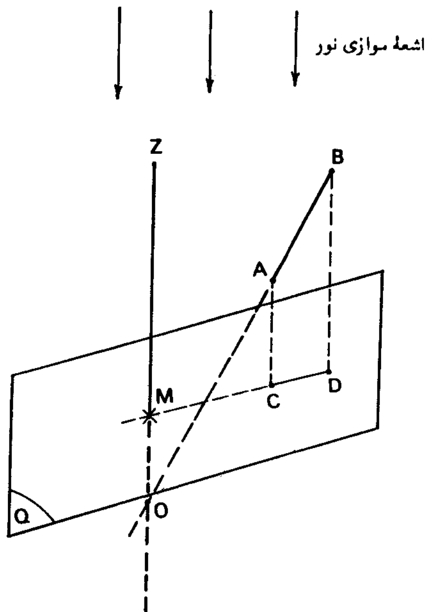
در ادامهٔ مطلب، به بحث دربارهٔ چگونگی روش، می‌پردازیم. اساس کار بر این نکته مبتنی است که به‌علت دوری فاصلهٔ زمین از خورشید، اشعهٔ نور خورشید بصورت موازی بر زمین می‌تابد و این امر، مستقل از محل مورد نظر بر ری کرهٔ زمین است. فرض موازی بودن اشعهٔ خورشید در بیشتر موارد عملی، و از جمله روش مورد بحث ما، صادق است.

در شکل (۵-۲۴)، فرض کنید که خط (MZ) موازی یکدسته اشعهٔ موازی نور باشد و خط (AB) بصورتی قرار گرفته باشد که امتداد آن، امتداد (MZ) را در

1. Meridian Altitude 2. Refraction Correction



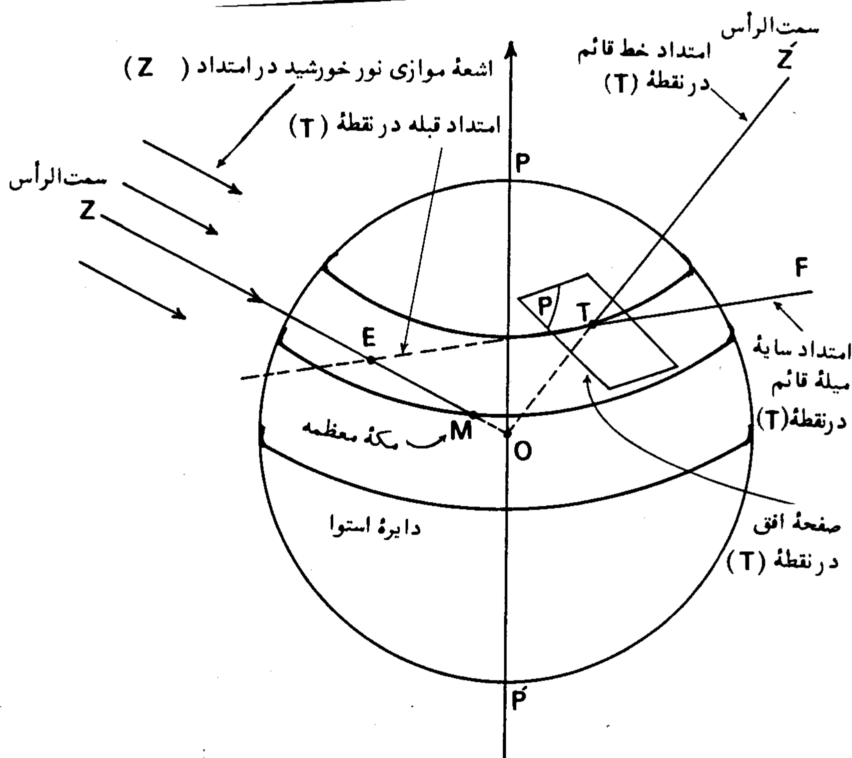

**شکل (۵-۲۳) — وضعیت خورشید در سمت‌الرأس مکهٔ معظمه.**




**شکل (۵-۲۴) — اساس روش تعیین قبله از روی امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم در اوقات معین.**

نقطه‌ای مانند (O) قطع کند و یا بعبارتی دیگر دو خط (AB) و (MZ) در یک صفحه قرار داشته باشند. صفحهٔ (Q) خط (MZ) را در نقطه‌ای مانند (M) قطع کرده است. حال اگر خط (CD) تصویر و یا سایهٔ خط (AB) بر صفحهٔ (Q) باشد، خط (CD) و (MZ) نیز در یک صفحه قرار داشته و امتداد خط (CD) خط (MZ) را در همان نقطهٔ (M) قطع می‌کند.

حال براساس همین نکتهٔ اخیر، مطلب را بر روی کرهٔ زمین مورد بررسی قرار می‌دهیم. در شکل (۵-۲۵)، فرض می‌کنیم که نقطهٔ (M) نمایانگر مکهٔ معظمه بر روی کرهٔ زمین بوده و سمت‌الرأس مکه در نقطه‌ای مانند (Z) باشد. همچنین محلی دیگر بر روی کرهٔ زمین را در نقطهٔ (T) با سمت‌الرأس (Z´) در نظر می‌گیریم. چنانکه شکل زمین کاملا کروی بوده و مرکز ثقل آن نیز در نقطهٔ (O) مرکز کره باشد، امتداد خطوط




**شکل (۵-۲۵) — روش تعیین قبله از راه تعیین امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم در اوقات معین، نشان داده شده بر روی سطح کره.**

(MZ) و ('TZ) همدیگر را در نقطهٔ (O) قطع می‌کنند. حال با توجه به‌آنچه که درمورد شکل (۲۴-۵) بیان شد، فرض می‌کنیم که اشعهٔ موازی نور خورشید در نقطهٔ (M)، در امتداد خط (MZ) باشد، بعبارت دیگر خورشید درسمت‌الرأس مکه قرار گیرد. در این صورت نیز تصویر امتداد ('TZ) بر روی صفحهٔ P (صفحهٔ افق در نقطهٔ T) یعنی خط (TF)، خط (MZ) را در نقطه‌ای مانند (E) قطع خواهد کرد. در نتیجه، امتداد (TE) جهت قبله در نقطهٔ (T) خواهد بود که جهت آن، درخلاف جهتی است که امتداد سایهٔ میلهٔ قائم در نقطهٔ (T) قرار می‌گیرد. دیده می‌شود که وقتی ناظری در نقطهٔ (T) بسوی مکهٔ معظمه می‌ایستد، در حقیقت بسوی نقطه‌ای مانند (E) قرار می‌گیرد و نه بسوی خود مکهٔ معظمه. نقطهٔ (E) محل تلاقی امتداد خط قائم در مکهٔ معظمه و امتداد صفحهٔ افق در نقطهٔ (T) است. این بدان سبب است که خط (TE) خط (MZ) را در نقطه‌ای در بالای سر نقطهٔ (M) قطع می‌کند و انحنای زمین مانع می‌شود که امتداد خط (ETF) از نقطهٔ (M) بگذرد.

بنابراین جهت عکس امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم و یا نخ یک شاقول در اوقات معین، در تاریخهای داده شدهٔ قبلی، جهت قبله را خواهد داد. در نتیجه، مطلب بصورت تعیین وقت قرار گرفتن خورشید درسمت‌الرأس مکهٔ معظمه برحسب وقت رسمی و یا ساعت محل دیگر، درمی‌آید.

لحظه‌ای را که خورشید در سمت‌الرأس مکهٔ معظمه قرار می‌گیرد، می‌توان برحسب وقت رسمی هر محلی با استفاده از فرمولهای شمارهٔ (۱-۳) و (۱-۴)، داده شده در فصل اوّل، محاسبه کرد. چگونگی روش محاسبه در طیّ چند مثال مورد بحث قرار می‌گیرد:

**مثال (۱۶-۵)**—محاسبه کنید، لحظه‌ای که خورشید در هشتم خردادماه ۱۳۶۴ (بیست‌ونهم ماه مه ۱۹۸۵) تقریباً در سمت‌الرأس مکهٔ معظمه قرار می‌گیرد، در تهران در نقطه‌ای با طول جغرافیایی (شرقی '۲۷ °۵۱ = $\lambda_T$)، ساعت چه وقتی را نشان می‌دهد.

**راه حل**—نصف‌النهار وقت استاندارد[1] در ایران، (شرقی °۵۲/۵ = $\lambda_I$) است و چون طول جغرافیایی مکهٔ معظمه (شرقی °۳۹/۹ = $\lambda_M$) است، بنابراین نصف‌النهار آن درمغرب نصف‌النهار وقت استاندارد درایران، قرار دارد و در نتیجه، علامت (LA)

1. Standard Time Meridian

منفی در نظر گرفته می‌شود. مقدار (LA) از فرمول(۴-۱) محاسبه می‌شود:

LA = (۵۲°/۵ − ۳۹°/۹) × ۴ = ۵۰/۴ دقیقه

اندازهٔ تعدیل زمان (EOT) در روز بیست‌ونهم ماه مه از جدول (۳-۷)، برابر با (ثانیه ۴۹، دقیقه ۲+ = EOT) است و لحظه‌ای که خورشید بر نصف‌النهار مکهٔ معظمه قرار می‌گیرد، (۱۲ = LAT) است، بنابراین با استفاده از فرمول شمارهٔ (۳-۱) داریم:

LAT = ST + EOT − LA

۱۲ = ST + ۲/۸۲ − ۵۰/۴

ST = ۱۲ ساعت، ۴۷/۵۸ دقیقه

ST = ۴۷/۵۸ دقیقه بعد ازظهر

پس وقتی که در تهران، ساعت ۴۷/۵۸ دقیقه بعد از ظهر را در روز هشتم خرداد ماه نشان می‌دهد، خورشید تقریباً درسمت‌الرأس مکه قرار می‌گیرد.

چنانکه از محاسبات فوق پیداست، طول جغرافیایی محل(شرقی′۲۷°۵۱ = $\lambda_T$ شرقی) در محاسبه، تأثیری ندارد و فقط طول جغرافیایی مکهٔ‌معظمه و نصف‌النهار وقت رسمی، درمحاسبه، وارد می‌شود.

زمان مربوط به‌روز بیست‌وپنجم تیرماه ۱۳۶۴ (شانزدهم ژوئیه ۱۹۸۵)، بطور قطع با آنچه که برای هشتم خردادماه محاسبه شد، تفاوت دارد که در مثال بعدی محاسبه می‌شود.

**مثال (۵-۱۷)**—محاسبه کنید که در چه ساعتی به‌وقت رسمی ایران در روز بیست‌وپنجم تیرماه۱۳۶۴ (شانزدهم ژوئیه ۱۹۸۵ میلادی)، خورشید درسمت‌الرأس مکهٔ معظمه قرار خواهد گرفت.

**راه حل**—اندازهٔ تعدیل زمان در روز شانزدهم ژوئیه برابر (ثانیه ۵۲، دقیقه ۵— = EOT) است، بنابراین:

۱۲ = ST − ۵/۸۷ − ۴ × (۵۲°/۵ − ۳۹°/۵)

ST = ۱۲ ساعت، ۵۶/۲۷ دقیقه

ST = ۵۶/۲۷ دقیقه بعد ازظهر

درنتیجه درایران در روز بیست‌وپنجم تیرماه در ۵۶/۲ دقیقه بعدازظهر خورشید تقریباً درسمت‌الرأس مکهٔ معظمه قرارخواهد داشت.

از دو مثال قبلی چنین نتیجه‌گیری می‌شود که جهت عکس امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم یا نخ یک شاقول درایران درساعت (۴۷/۵۸) دقیقه بعدازظهر در روز هشتم

خرداد ماه و یا در ساعت (۵۶/۲۷) دقیقه بعد از ظهر در روز بیست‌وپنجم تیرماه، تقریباً جهت قبله را معین می‌کند. البته این نتیجه، براساس مقادیر میل خورشید داده شده در جدول (۱ـ۶) و مقادیر تعدیل زمان در جدول (۳ـ۷) و فرض اینکه طول و عرض جغرافیایی کعبه (شرقی $\lambda_M = ۳۹^\circ/۹$ و شمالی $\varphi_M = ۲۱^\circ/۵$) است، می‌باشد. برای نتایج دقیقتر می‌بایست از جداول نجومی مربوط به‌سال مورد نظر و اندازه‌های دقیق مختصات جغرافیایی خانهٔ خدا استفاده کرد.

در مثال بعدی، اوقات مربوط، برحسب وقت گرینیچ (GMT)[1] محاسبه شده است.

**مثال (۱۸ـ۵)**ــ محاسبه کنید که در چه ساعتی به‌وقت گرینیچ، در روز هشتم خردادماه و بیست‌وپنجم تیرماه، خورشید در سمت‌الرأس مکهٔ معظمه قرار خواهد گرفت.

**راه حل**ــ نصف‌النهار وقت استاندارد گرینیچ صفر درجه و در نتیجه نصف‌النهار مکه (شرقی ۳۹/۹°) در مشرق آن قرار دارد و لذا علامت (LA) مثبت است. برای روز هشتم خرداد ماه خواهیم داشت:

$$۱۲ = GMT + ۲/۸۲ + ۴ \times (۳۹^\circ/۹ - ۰)$$

GMT= ساعت ۹ و (۱۷/۵۸) دقیقهٔ صبح

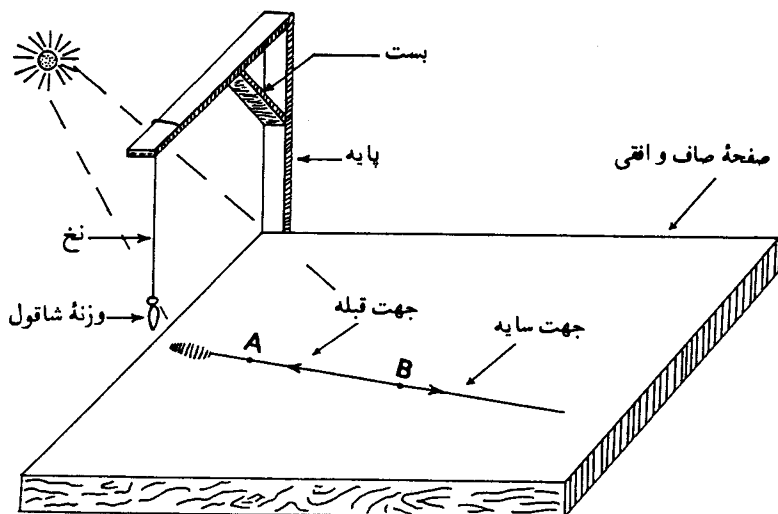
و برای روز بیست‌وپنجم تیر ماه:

$$۱۲ = GMT - ۵/۸۷ + ۴ \times ۳۹^\circ/۹$$

GMT= ساعت ۹ و (۲۶/۲۷) دقیقهٔ صبح

به همین ترتیب می‌توان لحظهٔ قرارگرفتن خورشید درسمت‌الرأس مکهٔ معظمه را برای محلهای دیگر با توجه به نصف‌النهار وقت رسمی آنها محاسبه کرد. در مرحلهٔ بعد می‌توان مطابق شکل (۲۶ـ۵) با استفاده از یک شاقول، امتداد قبله را مشخص ساخت. برای این کار، صفحه‌ای کاملا صاف و با رنگ روشن انتخاب و آن را در وضعیت کاملا افقی قرار می‌دهیم. سپس یک شاقول را مطابق شکل، توسط یک پایه در کنار آن نصب می‌کنیم. باید توجه داشت که در هنگام کار، وزنهٔ شاقول می‌بایست کاملا بی‌حرکت باشد. برای این کار می‌توان وزنهٔ شاقول را از نوع سنگین آن انتخاب کرد که نوساناتش زودتر گرفته شود. سپس ساعت و یا زمان‌سنج (کرونومتر) خود را دقیقاً با وقت رسمی منطقه میزان کرده، چند دقیقه قبل از لحظهٔ محاسبه شده روبروی خورشید

1. Greenwich Mean Time




**شکل (۲۶-۵)— تعیین جهت قبله با استفاده از سایهٔ نخ شاقول در اوقات و روزهای معین شده.**

درکنار شاقول قرار می‌گیریم. آنگاه درست در لحظهٔ محاسبه شده، بر روی امتداد سایهٔ نخ شاقول، دو نقطه مانند A و B را با مداد مشخص می کنیم. سپس دو نقطهٔ A و B را با یک خط مستقیم به‌همدیگر وصل می‌سازیم. جهت از نقطهٔ B به‌نقطهٔ A (در خلاف جهت‌سایه از A به B) جهت قبله را مشخص می کند.

مشخص بودن سایه، خود نکتهٔ مهمی است و رنگ صفحهٔ افقی مربوط، در این امر دخالت دارد. سایه بر روی صفحهٔ با رنگ روشن مانند رنگ کرم روشن، خاکستری روشن و سفید، بهتر مشخص می‌شود. به‌همین دلیل رنگ صفحهٔ انتخابی، بهتر است از رنگهای روشن برگزیده شود.

البته باز لازم است توضیح داده شود که این روش با فرض کروی‌شکل بودن زمین بدست آمده است. درفصل هشتم، راجع به‌شکل زمین بحث می‌شود و آنگاه روش مورد نظر درفصل نهم بیشتر تشریح خواهد شد. لذا نتایج بدست آمده در بالا را فقط می‌توان در موارد محدودی بکارگرفت و اجرای این روش درسطح بین‌المللی نیازمند تحقیقات و مطالعات بیشتری است که درفصل نهم به‌پاره‌ای ازآنها اشاره خواهد شد.

همچنین ازآنجاییکه همیشه نصف کرهٔ زمین در تاریکی شب و نصف دیگر در

روشنی روز و در زیر تابش خورشید قرار دارد، لذا اوقات و تاریخهای بدست آمده فقط برای نصف کرهٔ زمین کاربرد دارد. امّا خوشبختانه روش را می‌توان در نصف دیگر کرهٔ زمین نیز بکار گرفت. البته این مطلب در اوقات و تاریخهای دیگری که خورشید در سمت القدم[1] مکّهٔ معظمه قرار می‌گیرد، ممکن می‌شود و چگونگی آن در فصل نهم کتاب برای اولین بار آمده است.

### ۶ـ۵. تعیین جهت قبله با استفاده از قبله‌نمای رزم‌آرا

یکی از کارهای شایان توجهی که در مورد تعیین جهت قبله صورت گرفته، **قبله‌نمای رزم‌آرا**[2] است که در سال **۱۳۳۱** هجری شمسی توسط تیمسار سرتیپ حسینعلی رزم‌آرا ابتکار شده است. رساله‌ای در این مورد در کتابخانهٔ ملّی موجود است:

رزم‌آرا، ح. **رسالهٔ قبله‌نمای رزم‌آرا**، چاپ ششم، شمارهٔ ثبت در کتابخانهٔ ملی، ۱۴۶۰۷، ۱۳۳۴.

قبله‌نمای رزم‌آرا در مسافرت و موارد فوری و برای شهرهایی که در آن مشخص شده است، وسیلهٔ بسیار خوبی است. اما در مواردی که به‌دقت بیشتری نیاز است، می‌بایست نتیجه را با روشهای دقیقتر سنجید. در بخش (۴ـ۲) در فصل دوّم در بارهٔ قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی بحث شد و دیدیم که عقربهٔ مغناطیسی در امتداد میدان مغناطیسی یک محل قرار می‌گیرد که لزوماً با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی آن، یکی نیست. همچنین در این رابطه میل مغناطیسی تعریف شد.

در قبله‌نمای رزم‌آرا از یک عقربهٔ مغناطیسی و یک صفحهٔ مدرج حاوی جهت قبله در شهرهای مختلف، استفاده شده است. البته در محاسبات مربوطه، مسئلهٔ میل مغناطیسی منظور شده است. امّا علاوه بر میل مغناطیسی، خود عقربهٔ مغناطیسی می‌تواند تحت سایر عوامل، تولید خطا کند. ساختمانهای فلزی، معادن زیرزمینی، میدان مغناطیسی حاصل از خطوط انتقال نیرو و ماشینهای الکتریکی، از جملهٔ عواملی هستند که می‌توانند جهت میدان مغناطیسی زمین را در یک محل تغییر دهند و در نتیجه عقربهٔ مغناطیسی جهت واقعی قطبهای مغناطیسی را نشان ندهد. امروزه هم بعلت کثرت عواملی از قبیل ساختمانهای فلزی، وسایل فلزی، ماشینهای برقی و خطوط انتقال نیرو، جلوگیری از خطای مذکور در مواردی عملا بسیار مشکل و یا غیر ممکن است. به همین دلیل است که روشهای دیگر قبله یابی را نیز می‌بایست در نظر داشت.

1. Nadir 2. Razmara Compass (Ghebleh Nama)

در اینجا اظهارنظر دانشگاه تهران به‌نقل از رسالهٔ مذکور آورده می‌شود:
دانشگاه تهران، شمارهٔ ۲۴۵۹۴، تاریخ ۳۲/۱۰/۳۰.

**تیمسار سرتیپ حسین‌علی رزم‌آرا**

پاسخ نامهٔ مورخ ۲۵ آبان ۱۳۳۲ با قبله‌نمای مغناطیسی، که طرح آن بوسیلهٔ جنابعالی تهیه شده بود، در کمیسیونی مرکب از استادان دانشکدهٔ علوم، مورد بررسی قرار گرفت. اینک مفاد گزارش کمیسیون مزبور برای استحضار جنابعالی اشعار می‌شود:

تیمسار سرتیپ رزم‌آرا، زاویهٔ بین امتداد قبله و شمال مغناطیسی را از روی جداول و نقشه‌های موجود، با در نظر گرفتن میل مغناطیسی، طبق آخرین نقشه‌های خارجی، تعیین نموده و در تهیهٔ قطب‌نمای مغناطیسی بنحوی دخالت داده‌اند که بجز در مواردی که وجود مواد آهنی یا معادن ترکیبات آهن سبب انحراف غیرعادی عقربهٔ مغناطیسی می‌گردد، در نقاط دیگر، این اسباب، امتداد قبله را برای اقامه صلوة مسلمین با دقت لازم نشان می‌دهد.

البته انحراف مغناطیسی نقاط مختلف، علاوه بر تغییرات متناوب و ناچیز روزانه، بطور دائمی نیز تغییر می‌کند و تغییر عادی سالیانه برای نقاط مختلف، از چند دقیقه تجاوز نمی‌کند. بالنتیجه انحرافهای منظور شده در قبله‌نمای مغناطیسی، برای مدت زیادی که تغییر انحراف مغناطیسی از حدود چند درجه تجاوز نکند معتبر خواهد بود.

بطور خلاصه، توجه تیمسار سرتیپ رزم‌آرا به‌تهیهٔ چند صفحه، متضمن انحراف امتداد قبله از امتداد شمال و جنوب مغناطیسی برای بلاد مختلف و بکار بردن این صفحات در قبله‌نمای مغناطیسی قابل تقدیر است و قبله‌نمای ایشان در نقاط دور از آهن و معادن آهن و برای مدتی که تغییر فوق‌العاده در اندازهٔ انحراف مغناطیسی یک نقطه رخ ندهد، امتداد قبله را نشان می‌دهد.

از طرف رئیس دانشگاه-دکتر خانبابا بیانی

قبلا در این فصل در بخش (۳-۵)، اثر خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله در نقطه‌ای در تهران، درطی مثال (۱۵-۵) آمده است.

رسالهٔ **قبله‌نمای رزم‌آرا** در مهرماه ۱۳۴۴ هجری شمسی توسط **دارالکتب-الاسلامیه تهران** تجدید چاپ شده است (چاپ هفتم). در اینجا برای روشنتر شدن مطلب، شرح چند مورد دربارهٔ قبله‌نمای رزم‌آرا، به‌نقل از این رساله، ضمن تشکر و سپاس از جناب رزم‌آرا، آورده می‌شود:

## قبله نمای مغناطیسی

### ۱. مقدمه

قبله‌شناسی از مقدمات نماز بوده، بر هر مسلمانی، شناختن جهت کعبه از مکان خود در حضر و سفر لازم است. بدین لحاظ علمای عالیقدر هیئت و نجوم در قدیم و سنوات اخیر، از شیخ بهائی علیه‌الرحمه تا مرحوم سرتیپ مهندس عبدالرزاق بغایری برای استخراج قبله، مساعی دقیقی بعمل آورده و قبلهٔ بلاد را نسبت به‌جهات جغرافیایی تعیین کرده‌اند که برای یافتن قبلهٔ هر محل، بایستی قبلا جهت‌یابی کرد ولی این امر همیشه و برای هر کس بسهولت و سرعت مقدور نیست. مثلا مسافری که به‌یکی از شهرهای خارج کشور یا اماکن جدیدی برسد و بخواهد فوراً نماز بخواند، نمی‌تواند دستور قبله یابی را بطوری که در کتب قدیمه یا تقاویم به‌شرحی که در پانوشت آمده و صحیح است فوراً اجرا کند[1].

این دستور قدیمی طبق اصول علمی است ولی انجام آن برای همه کس و در همه حال و بسرعت، مقدور نیست، کسانی که هندسه ندانند، نمی‌توانند از آن استفاده کنند.

بنده سابقاً در موقع مسافرت بوسیلهٔ یک نقشهٔ پنج قطعه‌ای عالم و قطب‌نمای معمولی، جهت تقریبی مکه را در هر شهر پیدا می کردم ولی تابستان ۱۳۳۱ در آمریکا بر آن شدم که قبله‌نمای مغناطیسی تعبیه کنم که قبله یابی را تسهیل و برای همه کس

۱. دستور قدیم قبله‌یابی: برای سهولت، طالبین را دستور می‌دهم که انحراف قبلهٔ هرشهری را که خواهند، دایره‌ای بر زمین مسطح رسم کنند و بر مرکز آن که وسط حقیقی است شاخص نصب نمایند تا دو فایده بخشد یکی آنکه چون سایه معدوم شود یا به‌منتهای کمی رسد، بحسب آفاق وقت زوال است. دیگر آنکه بر سطح دایره دو خط عمودی رسم کنند که در نقطهٔ مرکز با هم تقاطع کنند، بطوریکه یکی از آن دو خط امتداد سایهٔ شاخص باشد که از دو طرف تا محیط دایره رسد و خط دیگر از وسط این خط، دو طرف مرکز دایره کشیده شود تا به‌محیط دایره منتهی شود. پس نقطهٔ طرف طلوع آفتاب را مشرق و نقطهٔ مقابل آن را مغرب دانند و اگر خود بجای شاخص بایستد و نقطهٔ مشرق را بدست راست خود قرار دهد، نقطهٔ پیش رویش، شمال و پشت سرش جنوب است. پس بین هردو نقطه را نود قسمت کرده خط بکشد، هرخط یک درجه می‌شود. آن‌وقت انحراف قبلهٔ آن شهر را از جدول این تقویم پیدا کرده ببیند چند درجه است، به‌همان اندازه از نقطهٔ جنوب شماره کند تا خط قبله معلوم شود.

حتی بیسوادها ممکن سازد. گرچه از قدیم عوام‌الناس قطب‌نما را به‌نام قبله‌نما می‌خواندند، ولی بر اهل معرفت پوشیده نیست که قطب‌نما جهت قطبین مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد و چون حساب قبله سابقاً نسبت به‌جهات جزافیایی بعمل آمده بود و انحراف مغناطیسی، که بعداً توضیح داده می‌شود، در نظر گرفته نشده بود، لذا قطب‌نما، نمی‌توانست قبله را صحیحاً نشان دهد.

برای انجام منظور فوق در مدت ۱۵ ماه، قسمت زیادی از ساعات تعطیل و فراغت از کار اداری را وقف استخراج و محاسبات مربوط به‌قبلهٔ قریب یک‌هزار شهر کردم که اکنون نتیجه، در چند نوع قبله‌نمای مغناطیسی به‌معرض استفاده گذارده می‌شود.

## ۲. محاسبات

محاسبات این قبله‌نما شامل دو قسمت است یکی استخراج قبله نسبت به‌نصف‌النهار هر محل و دیگری محاسبهٔ انحراف مغناطیسی هر مکان:

الف ــ استخراج را به‌طرق متعددی می‌توان انجام داد، بوسیلهٔ دایرهٔ هندیه یا اسطرلاب و یا سمت خورشید در ۸ خرداد و ۲۲ تیر و غیره، ولی چون بحث در کلیهٔ آنها طولانی خواهد بود، لذا دو طریقه، ذیلا ذکر می‌شود:

۱. پس از تعیین طول و عرض جغرافیایی دقیق مکه و شهر منظور، بوسیلهٔ دستورهای حل مثلثات کروی، جهت قبله تعیین می‌شود. این طریقه، خیلی دقیق است و می‌توان، درجه‌ها، دقیقه‌ها و ثانیه‌ها را نیز تعیین کرد، ولی محتاج به‌محاسبات طولانی و استعمال لگاریتم است و وقت زیادی می‌گیرد و برای اشخاص غیر ورزیده، احتمال اشتباهات کلی می‌رود و بایستی بازنگری کرد.

البته امروزه با دسترسی به‌ماشینهای دقیق حساب‌الکترونیکی، مشکل محاسبات طولانی و استعمال لگاریتم تا حد زیادی حل شده است. (مؤلف)

۲. اندازه‌گیری جهت مکه روی کره: این طریقه چنانچه با مهارت انجام شود سریع بوده، احتمال اشتباهات کمتری می‌رود و دقت آن درحدود نیم‌درجه است.

برای ساختن قبله‌نمای مغناطیسی، دقت طریقهٔ دوّم کافی است معهذا با نتیجهٔ طریقهٔ اوّل و محاسبات استخراج کنندگان سابق، تطبیق شده است.

ب ــ محاسبهٔ انحراف مغناطیسی هر مکان: چون منظور بنده استفاده از عقربهٔ مغناطیسی بود، لذا لازم گردید که انحراف مغناطیسی یعنی تفاوت بین شمال جغرافیایی

و شمال مغناطیسی هر شهر تعیین شود.

از آنجاییکه قطبین جغرافیایی زمین بر قطبین مغناطیسی آن منطبق نیست، مثلا قطب شمال مغناطیسی متجاوز از یکهزار میل، با قطب شمال جغرافیایی فاصله دارد و محل فعلی آن تقریباً در ۷۳ درجه عرض شمالی و صد درجه طول غربی گرینیچ واقع شده، در نتیجه در نقاط مختلف زمین انحرافاتی، بمقدار صفر تا ۱۸۰ درجهٔ شرقی یا غربی بین دو جهت جغرافیایی و مغناطیسی موجود است، بنابراین ملاحظه مشود که این اختلاف تا چه حد در جهت‌یابی یا قطب‌نما مؤثر می‌باشد، لذا بنده، نتیجهٔ استخراج قبلهٔ هرشهر را با انحراف مغناطیسی شهر مزبور، با در نظر گرفتن شرقی یا غربی بودن انحراف، ترکیب کردم که نتیجه، درساختن این قبله نما بکار رفته است.

توضیحاً عرض می‌شود که انحراف مغناطیسی دارای تغییرات سالیانه وحتی روزانه‌ای می‌باشد، ولی چون این تغییرات در حدود دقیقه است لذا، برای کار ما قابل توجه نیست.

## ۳. ساختمان قبله‌نما

قبله‌نما جعبه‌ای است مدور، از فلز یا پلاستیک که در قسمت فوقانی آن یک عقربهٔ مغناطیسی و در قسمت تحتانی یک یا چند صفحه قرار دارد. روی هر صفحه، نام تعدادی از شهرها، براساس محاسبهٔ دقیق جهت مکه و انحراف مغناطیسی محل، نوشته شده است.

قبله‌نمای خودکارمحلی، علاوه‌بر عقربهٔ مغناطیسی، عقربهٔ دیگری به‌رنگ قرمز یا برنجی یا شب‌نما دارد. درقبله نمای با صفحهٔ گردان، که جدیدترین نوع و خودکار برای همه جا، به‌حساب می‌آید، عقربه دیده نمی‌شود، خود صفحهٔ فلزی می‌گردد و توجیه می‌شود.

صفحات قبله‌نما بطور کلی، دو نوع است. در صفحات اولیه که هنوز درقبله‌نماها نصب می‌شود، مکهٔ معظمه در خارج صفحه در نظر گرفته شده، ولی در صفحات جدید محل کعبه در وسط صفحه فرض شده است، لذا با یک‌مرتبه توجیه صفحه به‌وسیلهٔ گرداندن قبله‌نما (یا بطور خودکار در نمونه های با صفحهٔ گردان) خطی که جلو هر شهر رسم شده، جهت قبلهٔ آن است بطرف مرکز صفحه.

در قبله‌نماهایی که دارای یک صفحه هستند و نمونه‌های با صفحهٔ گردان، صفحهٔ عمومی گذارده شده که نام شهرهای مهم را دارد. غیر از صفحهٔ عمومی، قریب

۲۰ صفحهٔ دیگر برای کشورهای مختلف به‌زبان فارسی و عربی یا انگلیسی وجود دارد، صفحهٔ مخصوص دلیل الحاج و صفحه‌ای با درجات، مثل صفحهٔ قطب‌نما تهیه شده است.

## ۴. دستور قبله یابی

الف — قبله‌نمای با عقربه

۱. اگر داخل قبله‌نما، برگهای متعددی است، برگی که نام شهر مطلوب را دارد رو قرار دهید.

۲. قبله‌نما را روی میز یا سطحی افقی (دور از آهن‌آلات و ادوات برقی) بگذارید.

۳. عقربهٔ مغناطیسی پس از نوسان، یک نوک آن معمولا نوک سیاه یا شب‌نما، بسوی شمال خواهد ایستاد.

۴. بملایمت، قبله‌نما را بگردانید تا شعاع شهر مطلوب، زیر نوک شمالی عقربه قرار گیرد. خط قبله که روی صفحه رسم شده، جهت مکه را نشان می‌دهد.

در قبله‌نماهای خودکار محلی، نوک سیاه عقربه، شمال، نوک سفید، جنوب و نوک اضافی — که به‌رنگ قرمز یا شب‌نما یا برنجی می‌باشد — بطور خودکار قبلهٔ شهرستانهایی را نشان می‌دهد که در صفحهٔ قبله‌نما با علامت قرمز مشخص گشته یا روی جعبهٔ آن قید شده است.

برای قبله یابی با صفحات جدید که مکهٔ معظمه در وسط صفحه فرض شده، باید قبله‌نما را بطور افقی گرداند تا شمال صفحه، زیر نوک شمالی عقربهٔ مغناطیسی قرار گیرد. در این وضعیت خطی که مجاور هر شهر، رو به‌مرکز کشیده شده، جهت قبلهٔ همان شهر است.

ب — نمونه‌های خودکار با صفحهٔ گردان

هر موقع قبله‌نما را در سطحی افقی (دور از آهن‌آلات) بگذارید، صفحهٔ پس از قدری نوسان بی‌حرکت می‌شود و شعاع هر شهر قبلهٔ آن را بطور خودکار نشان خواهد داد.

مکهٔ معظمه در مرکز صفحه فرض شده و محاسبات زاویهٔ قبلهٔ هرمحل، روی این فرض بعمل آمده است.

برای اشخاص بی‌سواد یا بخاطر سهولت قبله یابی، می‌توان شعاع شهر مورد نظر را به‌رنگی مشخص ساخت. سمت شمال محل را علامت کوچکی روی صفحه، نشان می‌دهد.

برای یافتن قبلهٔ اماکنی که در صفحه درج نشده، جداول مخصوص برای هر ناحیه یا کشور تهیه شده است.

## ۵. توضیحات

تبصرهٔ ۱. عقربهٔ مغناطیسی، شمال و جنوب مغناطیسی را نشان می‌دهد نه قبله را، لذا با قطب‌نماهای معمولی قدیم، نمی‌توان بدون محاسبات مخصوص قبله‌یابی کرد. بیسوادها را آگاه فرمایید که گمراه نشوند.

تبصرهٔ ۲. موقع قبله‌یابی باید شعاع مربوط به‌هر شهر را مورد استفاده قرار داد نه نام شهر را، بطوریکه در دو مثال زیر نموده شده است:

مثال اوّل: در شهر کلمبو (در جزیرهٔ سیلان، جنوب شرقی هندوستان) چنانچه نوک سیاه عقربه مطابق شکل (۱)-شکل (۲۷-۵) در این کتاب- قرار گیرد، سهم، قبلهٔ آن شهر را نشان می‌دهد.

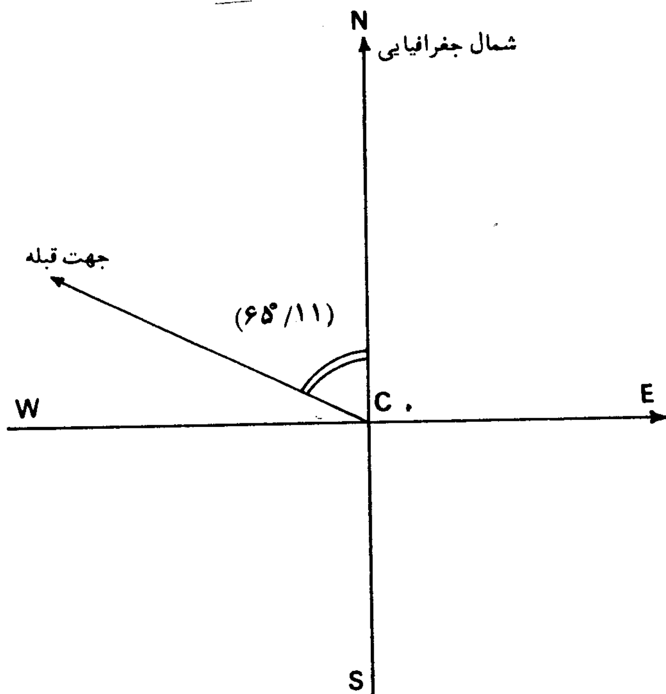
در اینجا توضیحات را قطع کرده و اندکی درمورد مثال اوّل، تحقیق و بررسی




شکل (۲۷-۵)—جهت قبله در کلمبو در جزیرهٔ سیلان، جنوب شرقی هندوستان (این شکل از رسالهٔ آقای رزم‌آرا اخذ شده است).

می‌کنیم. (مؤلف)

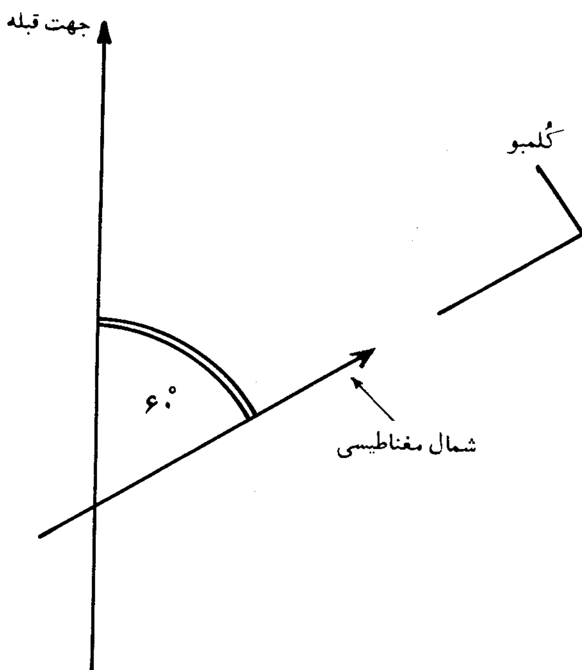
چنانکه مختصات جغرافیایی کلمبو[1] در جزیرهٔ سری‌لانکا[2] (سیلان)، ($\varphi_{Co} = 6°56'$ شمالی) و (شرقی $\lambda_{Co} = 79°58'$) باشد، جهت قبله در این شهر از راه مثلثات کروی، (۶۵°/۱۱) در مغرب شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد، شکل (۵-۲۸).




**شکل (۵-۲۸)—جهت قبله در نقطه‌ای در کلمبو در جزیرهٔ سری‌لانکا، نسبت به‌امتداد شمال جغرافیایی از راه مثلثات کروی.**

شکل (۵-۲۹)، از انتقال شکل (۵-۲۷) بدست آمده است. زاویهٔ بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در کلمبو درحدود ۶۵° به‌طرف مغرب است. از تفاوت حاصل محاسبه و آنچه که از شکل (۵-۲۷) بدست آمده است، نتیجه می‌شود که جهت شمال مغناطیسی درکلمبو، درحدود (۵°—۶۰°—۶۵°) در مغرب شمال جغرافیایی است، بعبارتی دیگر میل مغناطیسی درکلمبو در حدود ۵° غربی در نظر گرفته شده

1. Colombo 2. Sri Lanka (Ceylon)




**شکل (۵ـ۲۹) — زاویهٔ بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در شهر کلمبو به‌نقل از شکل (۵ـ۲۷).**

است. با مراجعه به‌شکل (۸ـ۲)، در فصل دوّم، دیده می‌شود که جزیرهٔ سری‌لانکا در جنوب شرقی هندوستان، در ناحیه‌ای با میل مغناطیسی از صفر درجه تا °۱۰ غربی قرار دارد و فرض اینکه میل مغناطیسی کُلمبو درحدود °۵ غربی باشد، با توجه به‌اطلاعات داده شده در این شکل، تا حدی درست است. البته نقشه مربوط به‌سال ۱۹۶۵ است و اینکه درحال حاضر هم میل مغناطیسی کلمبو همان °۵ غربی است، معلوم نمی‌باشد. این مطلب که میل مغناطیسی، سالیانه به‌مقدار کمی تغییر می‌کند، درست است، امّا تعیین تغییرات میل مغناطیسی در کلمبو، از سال ۱۹۶۵ تابحال—سال ۱۹۸۵— نیازمند دسترسی به‌نقشه های مغناطیسی فعلی جهان و یا اندازه‌گیری موضعی آن، در کلمبو است.

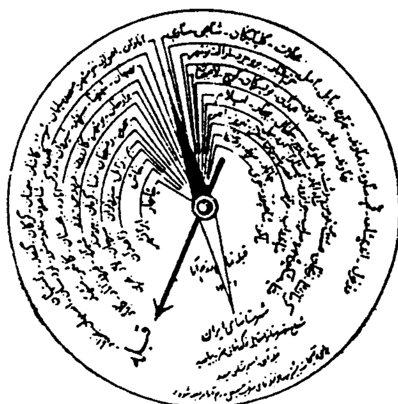
از آنچه که آمد، معلوم می‌شود در مواردی که تعیین دقیق جهت قبله مورد نظر

است؛ مانند ایجاد ابنیهٔ اسلامی و یا مساجد، توسل به‌نتایج قبله‌نمای مغناطیسی به‌تنهایی کافی نیست و می‌بایست نتایج روشهای دیگر را نیز درنظر داشت. (مؤلف)

ادامهٔ توضیحات به‌نقل از رسالهٔ آقای رزم‌آرا:

تبصرهٔ ۳. در صفحات کشورها چون قبلهٔ شهرها غالباً در قسمت کوچکی از محیط دایره قرار می‌گیرد و نمی‌توان در این قسمت کوچک اسامی تعداد زیادی از شهرها را نوشت، لذا در این قسمت طبق محاسبه، یک سلسله اشعه، رسم شده که هر شعاع متعلق به‌یک یا چند شهر است.

مثال دوّم: در هریک از شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، مسجدسلیمان، شوشتر، کاشان الی دامغان چنانچه نوک سیاه عقربه، بوضعی که در شکل ۲ـشکل (۳۰ـ۵) در این کتاب‌ـنموده شده، قرار گیرد، در این صورت، سهم، قبلهٔ شهرهای مزبور را نشان خواهد داد.



**شکل (۳۰ـ۵)ــ قرارگرفتن امتداد قبلهٔ چند شهر بر روی یک شعاع (این شکل از رسالهٔ آقای رزم‌آرا گرفته شده است).**

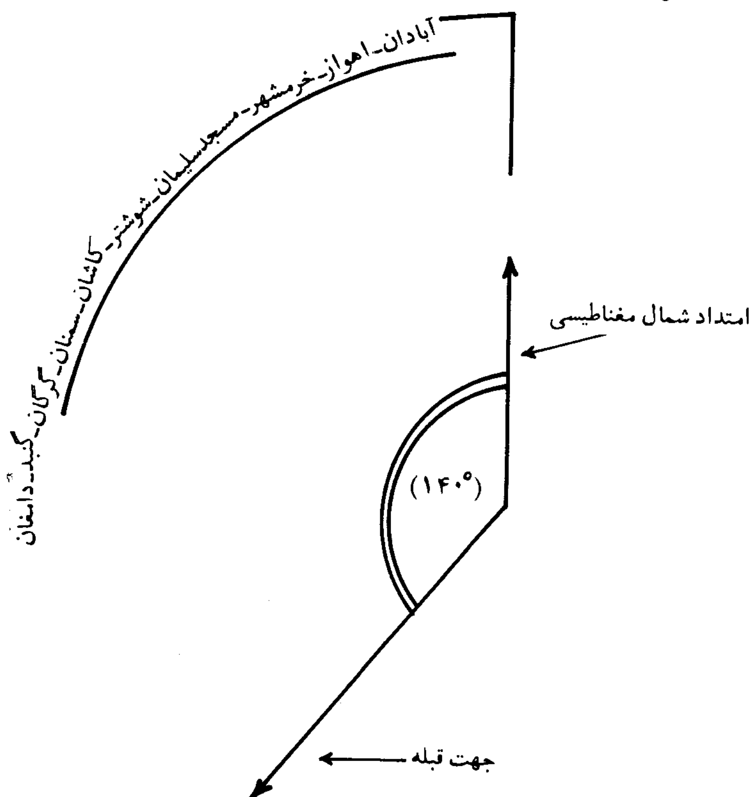
تبصرهٔ ۴. قبلهٔ قراء با قبلهٔ مرکز شهرستان تفاوت محسوسی ندارد.

تبصرهٔ ۵. در صفحات جدید که مکّه در مرکز آنها فرض شده، موقعی که شمال صفحه، زیر نوک شمالی عقربه قرار گیرد، خطی که مجاور هر شهر، به‌مرکز کشیده شده، قبلهٔ همان شهر است. لذا با دو شکل فوق (۱ و ۲)، دارای اختلاف است.

تبصرهٔ ۶. برای استفادهٔ بیسوادها، یا برای اینکه شعاع شهری را بتوان فوراً در صفحه پیدا کرد، در قبله‌نماهای دارای صفحات متعدد، روی صفحهٔ تلق حامل پایهٔ عقربه، خط رنگینی رسم شده که موسوم است به‌خط نشانه. چنانچه موقع گذاردن صفحه، شعاع شهر مطلوب را زیر خط نشانه قرار دهند و در موقع بستن قبله‌نما هم تغییر محل ندهد، پیدا کردن شعاع، موقع قبله‌یابی تسهیل می‌شود، اشخاص بیسواد یا کسانی که چشمشان ضعیف است نیز می‌توانند از آن استفاده کنند.

در اینجا لازم است دربارهٔ مثال دوّم هم اندکی تحقیق و بررسی کنیم (مؤلف):

زاویهٔ بین امتداد شمال مغناطیسی و جهت قبله، به‌نقل از شکل (۵-۳۰)، در شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، مسجدسلیمان، شوشتر، کاشان، سمنان، گرگان، گنبد و دامغان، درحدود °۱۴۰ به‌طرف مغرب است، شکل (۵-۳۱). حال بعنوان مثال در




**شکل (۵-۳۱)— زاویهٔ بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر الی دامغان، به‌نقل از شکل (۵-۳۰).**

مورد سه شهر به‌شرح زیر نتیجهٔ بدست آمده را بررسی می‌کنیم. البته در اینجا به‌مقادیر مختصات جغرافیایی و میل مغناطیسی که شکل (۳۰ـ۵) از آنها بدست آمده است، دسترسی نیست، لذا در هر مورد مختصات جغرافیایی معمول این شهرها و مقادیر میل مغناطیسی که توسط مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران در سال ۱۳۴۲ هجری شمسی اندازه‌گیری شده، بکار رفته است:

**سمنان:** شمالی $\varphi_S = ۳۵°۳۳'$ شرقی $\lambda_S = ۵۳°۲۴'$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $۱۳۶°/۳۷$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است، و چون میل مغناطیسی در سمنان در سال ۱۳۴۲ هجری شمسی، $۳°/۶۹$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به‌امتداد شمال مغناطیسی برابر است با:

$$۱۳۶°/۳۷ + ۳°/۶۹ = ۱۴۰°/۰۶$$

که با نتیجهٔ حاصل ازشکل (۳۰ـ۵)، تقریباً برابر است.

**گنبدقابوس:** شمالی $\varphi_G = ۳۷°۱۵'$ شرقی $\lambda_G = ۵۵°۹/۵'$

جهت‌قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $۱۳۵°/۷۸$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است، و چون میل مغناطیسی در گنبد، $۴°/۱۷$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به‌امتداد شمال مغناطیسی برابر است با:

$$۱۳۵°/۷۸ + ۴°/۱۷ = ۱۳۹°/۹۵$$

که با نتیجهٔ حاصل ازشکل (۳۰ـ۵)، تقریباً برابر است.

**اهواز:** شمالی $\varphi_A = ۳۱°۲۹'$ شرقی $\lambda_A = ۴۸°۴۲'$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $۱۳۹°/۶۷$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است و چون میل مغناطیسی در اهواز $۲°/۸۲$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به‌امتداد شمال مغناطیسی، برابر است با:

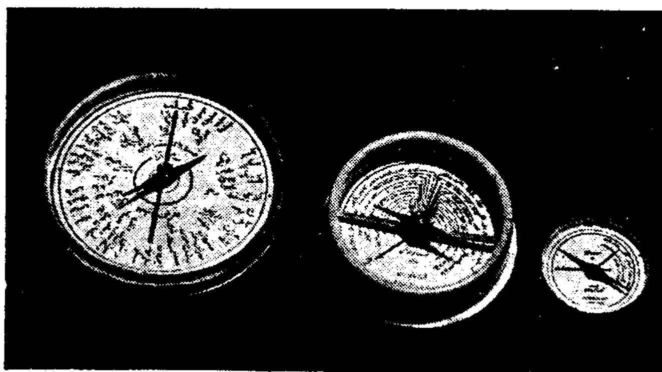
$$۱۳۹°/۶۷ + ۲°/۸۲ = ۱۴۲°/۴۹$$

می‌بینیم که این نتیجه، درحدود $۲°/۵$ با نتیجهٔ حاصل از شکل (۳۰ـ۵) اختلاف دارد. حال چنانکه با استفاده از روش ارائه شده در بخش (۳ـ۵) و

مثال (۵-۱۵)، میزان خطای ناشی از این اختلاف را محاسبه کنیم، می‌بینیم که °۲/۴۹ اختلاف، سبب می‌شود که ناظر، روبروی نقطه‌ای در حدود ۶۱ کیلومتری مکّهٔ معظمه قرار داشته باشد. اندازهٔ کمان دایرهٔ عظیمهٔ گذرکننده بر اهواز و مکّه، درحدود °۱۲/۷ و طول آن حدود ۱۴۱۲/۴۴ کیلومتر است.

با توجه به‌آنچه که مورد بررسی قرار گرفت، چنین نتیجه می‌شود که برای تعیین جهت دقیق قبله، خصوصاً به‌منظور بنای ابنیه و مساجد، می‌بایست نتایج بدست آمده از قبله‌نمای مغناطیسی را با روشهای دقیقتر سنجید. امّا در حضر و سفر، قبله‌نمای مغناطیسی وسیلهٔ مناسبی است، چه در اینگونه موارد، فرصتی برای دقت مورد لزوم، باقی نمی‌ماند. البته در اینصورت همیشه خطای ناشی از اصطکاک عقربهٔ مغناطیسی و میدانهای مغناطیسی مزاحم، موجود است.

درشکل(۵-۳۲)، چند نمونه از قبله‌نمای مغناطیسی رزم‌آرا و درشکل (۵-۳۳) تصور چگونگی استقرار قبله‌نمای مغناطیسی بر روی زمین، نمایانده شده است. این شکلها، با تشکر از آقای رزم‌آرا، از رسالهٔ ایشان گرفته شده است.



**شکل (۵-۳۲) — چند نمونه از قبله‌نمای رزم‌آرا.**

## ۵—۷. تعیین جهت قبله در نقاط خاص

گاهی تعیین جهت قبله در نقطه‌ای بر روی کرهٔ زمین که در مقابل محل مکّهٔ معظمه قرار گرفته، و همچنین در نقطهٔ قطب شمال، مورد توجه قرار می‌گیرد. گرچه امکان بودن، درچنین نقاطی نادر است، امّا برای فهم بهتر روشهای این فصل، در این




**شکل (۵-۳۳)— تصور چگونگی استقرار قبله‌نمای مغناطیسی بر روی زمین.** (با تشکر از آقای رزم‌آرا).

بخش چگونگی تعیین جهت قبله در چنین نقاطی بیان می‌شود:

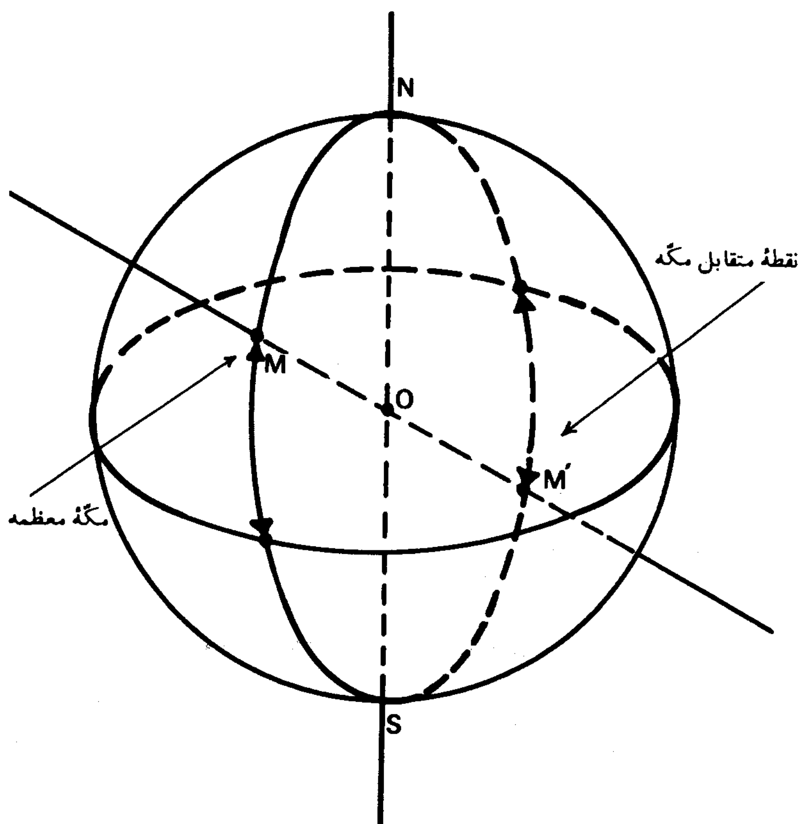
### ۱ـ۷ـ۵. تعیین جهت قبله در نقطهٔ متقابل مکّه بر روی کرهٔ زمین

قبلا فرض شد که مختصات جغرافیایی مکّهٔ معظمه به‌شرح زیر باشد:

$\lambda_M = ۳۹°۵۴'$ شرقی $\qquad \varphi_M = ۲۱°۳۰'$ شمالی

چنانکه فرض کنیم که شکل زمین کاملا کروی باشد، محوری که از مکّهٔ معظمه و مرکز زمین می‌گذرد، سطح کرهٔ زمین را در طرف دیگر آن، در نقطه‌ای، متقابل با مکّهٔ معظمه، با مختصات جغرافیایی زیر قطع می‌کند، نقطهٔ ('M) شکل (۵ـ۳۴):

$\lambda_{M'} = ۱۴۰°۶'$ غربی $\qquad \varphi_{M'} = ۲۱°۳۰'$ جنوبی




شکل (۵ـ۳۴) ــ نقطهٔ متقابل مکّهٔ معظمه بر روی کرهٔ زمین، نقطهٔ ('M) است.

چنین مختصاتی بر روی کرهٔ زمین، در جنوب شرقی جزیرهٔ تاهیتی[1]، در میان مجمع الجزایر تواموتو[2]، در اقیانوس آرام[3] قرار دارد.

نظر به اینکه این نقطه در تواموتو و مکّهٔ معظمه بر روی یک قطر از کرهٔ زمین قرار دارد، لذا هر دایرهٔ عظیمه‌ای که در نقطهٔ متقابل مکّه (M') در هر جهتی رسم شود، از مکّهٔ معظمه خواهد گذشت. بنابراین در نقطهٔ متقابل مکّه در تواموتو، جهت قبله بهر سویی می‌تواند باشد، بعبارت دیگر در این نقطه بهر سویی که بایستیم، جهت قبله است.

در فصل نهم کتاب، دوباره دربارهٔ نقطهٔ متقابل مکّهٔ معظمه بر روی کرهٔ زمین، بحث خواهد شد.

## ۲ـ۷ـ۵. تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی

در بیشتر روشهایی که تابحال مورد بررسی قرار گرفته است، تعیین جهت قبله در رابطه با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی صورت می‌گیرد. وضعیت تابش خورشید در نقاط قطب شمال و جنوب، به‌وضعی که در مناطق معتدله[4] می‌بینیم، نیست و لذا بیشتر، روشهایی که در جهت یابی و قبله یابی بیان شد، در نقطه‌های قطب شمال و جنوب کاربرد ندارد. لذا قبل از بیان روشهای تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب زمین، ابتدا چگونگی وضعیت تابش خورشید و یا حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در نقاط قطبی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

البته وضعیت حرکت ظاهری خورشید در سایر مناطق کرهٔ زمین، قبلا در مطلب شمارهٔ (۶) درفصل دوم آمده است.

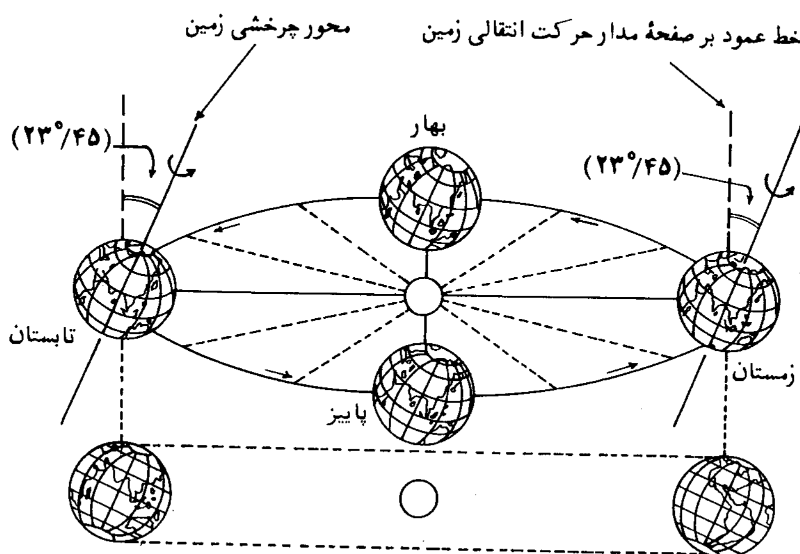
در شکل (۵ـ۳۵)، مدار حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید، نشان داده شده است. زمین در طول یک سال شمسی، یک بار این مدار را به‌دور خورشید می‌پیماید. محور چرخشی زمین نسبت به‌سطح مدار حرکت انتقالی آن متمایل است و با خط عمود برآن، زاویه‌ای برابر ۲۳°/۴۵ می‌سازد. امتداد این محور چرخشی عملا درطول سال به موازات خود باقی می‌ماند. متمایل بودن محور چرخشی زمین نسبت به‌سطح مدار آن به‌دور خورشید و همچنین حرکت انتقالی آن، موجب ایجاد فصول چهارگانه برروی زمین است. همچنین متمایل بودن محور چرخشی زمین باعث گشته است که حرکت ظاهری روزانهٔ

1. Tahiti 2. Tuamotu Archipelago 3. Pacific Ocean
4. Temperate zones

خورشید درقطبهای شمال وجنوب جغرافیایی، بصورت بخصوصی درآید. بدین‌صورت که درقطبهای شمال وجنوب جغرافیایی، آفتاب تقریباً شش‌ماه ازسال دربالای افق وشش‌ماه دیگر در زیر افق قرار می‌گیرد، بعبارت دیگر قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی دارای شبانه‌روزی بطول یکسال است که طول شب آن درحدود شش ماه و طول روز آن نیز تقریباً شش ماه است. البته هنگامیکه درقطب شمال، روز طولانی شش ماهه در جریان است، درقطب جنوب شب طولانی شش ماهه ادامه می‌یابد و برعکس.

علت اینکه شبانه‌روز قطبی یکسال طول می‌کشد، می‌توان با دقت در شکل (۵-۳۵) بسادگی فهمید.

در این شکل می‌بینیم که با شروع بهار، قطب شمال زمین کم‌کم روبروی خورشید قرار می‌گیرد و در اوّل تابستان، نواحی قطب شمال، همیشه بطرف خورشید است که این حالت تا پایان فصل تابستان و اوّل پاییز بطول می‌انجامد. با شروع فصل پاییز، دیگر آفتابی بر نقطهٔ قطب شمال نمی‌تابد و این وضع درطول فصلهای پاییز و زمستان ادامه دارد و تا اوّل فصل بهار، طول می‌کشد. درهرکدام از این دو حالت، حرکت وضعی زمین، یعنی چرخش آن به‌دور خود درطول بیست‌وچهار ساعت، موجب




شکل (۵-۳۵) — حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید درطول یک سال شمسی.

طلوع و غروب خورشید نمی‌شود، چه، مناطق حوالی قطب شمال یا همیشه رو به خورشید است و یا همیشه بدور از آن.

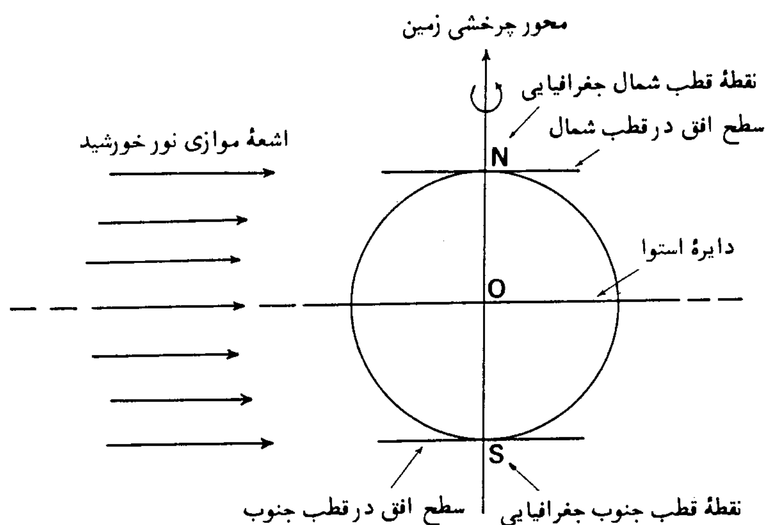
به همین ترتیب می‌توان دید که در شش ماهی که قطب شمال بطرف خورشید قرارمی‌گیرد (بهار و تابستان)، قطب جنوب، بدور از خورشید است و شب طولانی آن ادامه دارد و برعکس.

حال که چگونگی شبانه‌روز طولانی قطبی روشن شد، باید دید که در شش ماهی که خورشید همیشه بالای افق در پهنهٔ آسمان است، حرکت ظاهری آن در طول بیست‌وچهارساعت به چه صورتی است.

برای درک بهتر مطلب، می‌بایست میل خورشید را که در شکل (۲۲ـ۵) نمایانده شد، دوباره مورد توجه قرار داد. اصولا تغییرات زاویهٔ اشعهٔ موازی خورشید با سطح دایرهٔ استوای زمین، بعلت حرکت انتقالی زمین و متمایل بودن محور چرخشی آنست.

در ادامهٔ مطلب با توجه به‌مقادیر میل خورشید در فصول مختلف—شکل (۲۲ـ۵)—مطالب گفته شدهٔ قبلی را پی می‌گیریم و آنگاه حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید درقطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را تشریح می کنیم.

ابتدا از اعتدال بهاری‌وپاییزی‌شروع می کنیم. مطابق‌شکل (۳۶ـ۵)، خورشید

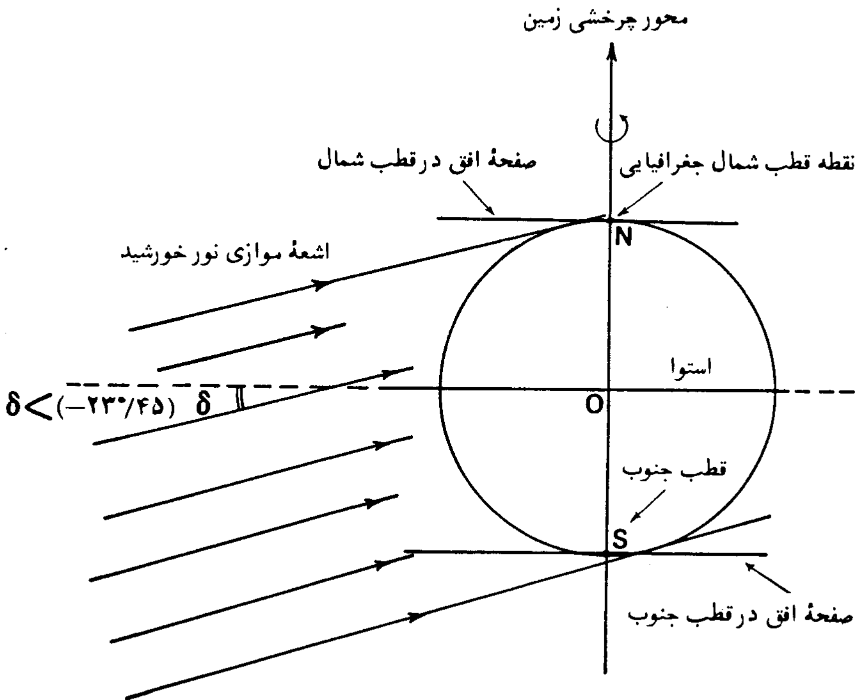



**شکل (۳۶ـ۵)—وضعیت تابش نور خورشید بر کرهٔ زمین، در اوّل فصلهای بهار و پاییز.**

در اعتدالین بر امتداد سطح دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد و درنتیجه، اشعهٔ موازی نور خورشید به‌موازات سطح دایرهٔ استوای زمین، بر آن می‌تابد.

چنانکه در این شکل دقت شود، دیده می‌شود که در اعتدالین، خورشید در افقهای نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی قرار می‌گیرد؛ بدینصورت که در اعتدال بهاره، آغاز طلوع خورشید در روز طولانی قطب شمال، و غروب خورشید در قطب جنوب و شروع شب طولانی، در آن مکان است، و در اعتدال پاییزه غروب روز طولانی قطب شمال و شروع شب طولانی آن و آغاز طلوع خورشید در روز طولانی قطب جنوب است.

از اوّل پاییز به بعد، با توجه به‌شکل (۳۷-۵)، میل خورشید تدریجاً از صفر درجه در اعتدال پاییزه به ۲۳°/۴۵ — در انقلاب زمستانی نزول می کند و درحقیقت

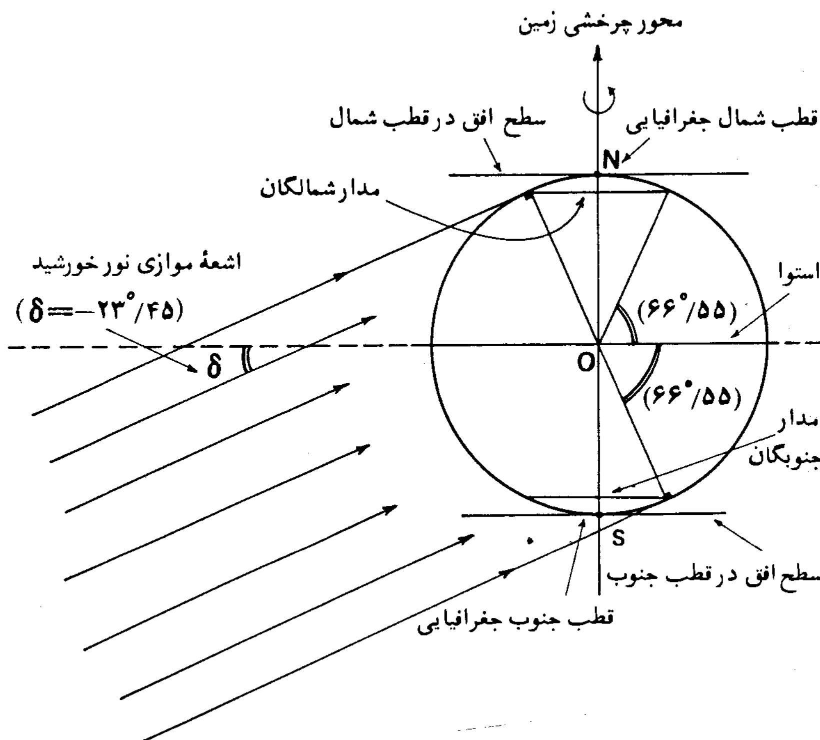



شکل (۳۷-۵)— وضعیت تابش نور خورشید بر کرهٔ زمین از اوّل پاییز به بعد و از اوّل زمستان به بعد.

خورشید در زیر دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد. درنتیجه، از اوّل پاییز به بعد به‌مرور، مناطق بیشتری از اطراف قطب شمال در تاریکی فرومی‌رود و برعکس مناطق وسیعتری در اطراف قطب جنوب، در روشنی دایمی خورشید قرار می‌گیرد. در این حالت علی‌رغم حرکت وضعی زمین، مناطق اطراف قطب شمال در تاریکی و مناطق اطراف قطب جنوب در روشنی خورشید قرار دارند.

در اوّل زمستان، خورشید در منتهی‌الیه وضعیت خود در زیر امتداد سطح دایرهٔ استوا واقع است، بعبارت دیگر میل خورشید، به کمترین مقدار خود یعنی ($\delta = -23°/45$) می‌رسد، شکل (۵ـ۳۸).

در این شکل مداری شمالی با اندازهٔ $66°/55 = 23°/45 - 90°$ به نام مدار شمالگان[1] (مدار قطب شمال) نشان داده شده است. در اوّل زمستان بیشترین مساحت ممکنه از مناطق




شکل (۵ـ۳۸) — وضعیت تابش نور خورشید بر کرهٔ زمین در اوّل زمستان.

1. Arctic Circle

اطراف قطب شمال جغرافیایی در تاریکی فرو می‌رود، بعبارت دیگر کلیهٔ مناطق واقع‌در شمال مدار شمالگان (منطقهٔ منجمدهٔ شمالی[1]) در تاریکی شب قرار می‌گیرند و برای تمام نقاطی که بر روی مدار قطب شمال قرار دارند، خورشید در طول بیست‌وچهار ساعت شبانه‌روز درسطح افق قرار خواهد داشت.

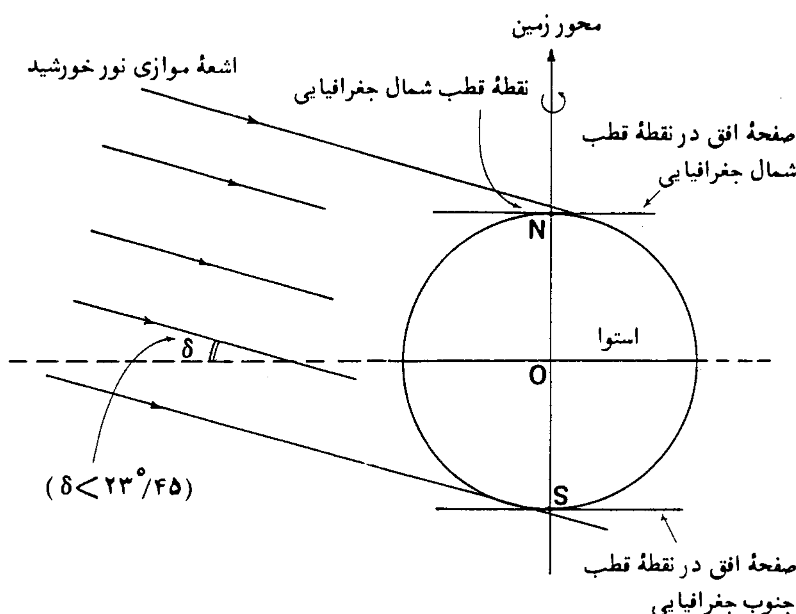
برعکس در اوّل زمستان نیمکرهٔ شمالی (اوّل تابستان نیمکرهٔ جنوبی) بیشترین مساحت ممکنه از مناطق اطراف قطب جنوب جغرافیایی، در روشنی خورشید قرار می‌گیرند. در شکل (۳۸-۵)، مداری جنوبی با اندازهٔ ۶۶/۵۵° به‌نام مدار جنوبگان[2] دیده می‌شود، در اوّل زمستان نیمکرهٔ شمالی، کلیهٔ مناطق واقع در جنوب این مدار (منطقهٔ منجمدهٔ جنوبی)[3] در روشنی خورشید قرار دارند و برای تمام نقاطی که بر روی این مدار واقعند، خورشید در طول بیست‌وچهار ساعت شبانه‌روز در سطح افق، دیده می‌شود.

از نقطهٔ انقلاب زمستانی به بعد، خورشید دوباره تدریجاً به‌امتداد سطح دایرهٔ استوا نزدیکتر می‌شود و حالت شکل (۳۷-۵) مجدداً تکرار می‌گردد و به‌مرور، مناطق بیشتری از منطقهٔ منجمدهٔ شمالی در روشنی خورشید قرار می‌گیرد، اما خود نقطهٔ قطب شمال در این حالت هنوز در تاریکی شب قرار دارد. البته در این وضعیت نقطهٔ قطب جنوب جغرافیایی کما کان در روشنی خورشید قرار دارد و از وسعت مناطقی از منطقهٔ منجمده جنوبی که در روشنی روزقرار دارند، کاسته می‌شود.

بعد از این مرحله، به‌اعتدال بهاری در اوّل فصل بهار می‌رسیم که خورشید بر امتداد سطح دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد($\delta = 0°$)، شکل (۳۶-۵). در اینحالت، در نقطهٔ قطب شمال، خورشید در افق، ظاهر می‌گردد که درحقیقت موقع طلوع خورشید و شروع روزطولانی نقطهٔ قطب شمال است. در نقطهٔ قطب جنوب جغرافیایی نیز خورشید در افق، قرار دارد و موقع غروب خورشید و شروع شب طولانی قطبی، در آنجاست.

از اوّل بهار به بعد، میل خورشید تدریجاً از صفر درجه به ۲۳/۴۵°+ می‌رسد، شکل (۳۹-۵). در این مرحله، خورشید همواره در بالای امتداد سطح دایرهٔ استوا قرار دارد و درنتیجه، نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی همواره به‌طرف خورشید قرار می‌گیرد. ارتفاع خورشید در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی از صفر درجه در اوّل بهار، به‌بیشترین اندازهٔ خود در اوّل تابستان می‌رسد. با ازدیاد میل خورشید، مناطق بیشتری از منطقهٔ منجمدهٔ جنوبی در تاریکی فرو می‌رود، درحالی که به‌مرور، مناطق وسیعتری از منطقهٔ

1. North Frigid Zone 2. Antarctic Circle 3. South Frigid Zone

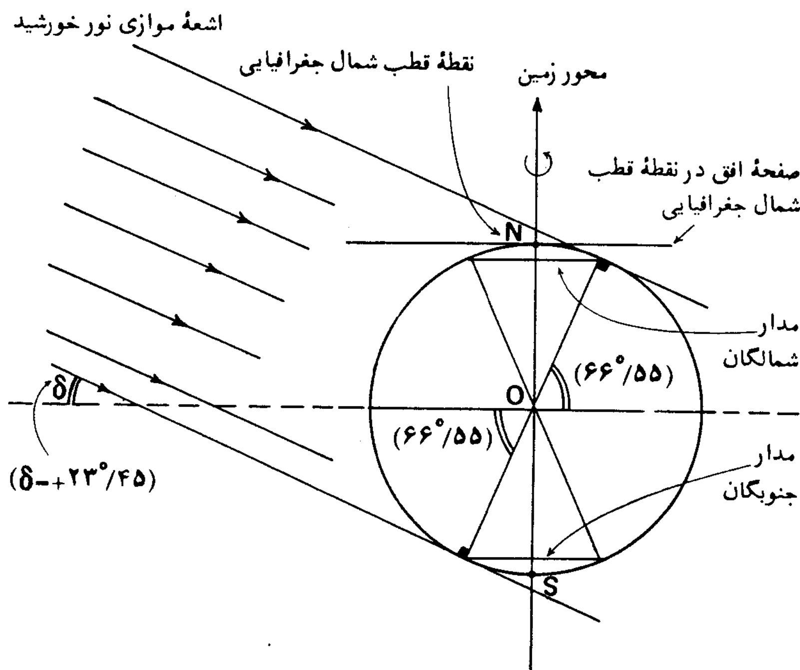



**شکل (۳۹-۵)— وضعیت تابش نور خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی از اوّل فصل بهار به بعد.**

منجمدهٔ شمالی در روشنی خورشید قرار می‌گیرند.

در نقطهٔ انقلاب تابستانی (اوّل تابستان در نیمکرهٔ شمالی، اوّل زمستان در نیمکرهٔ جنوبی)، خورشید در منتهاالیه وضعیت خود در بالای امتداد سطح دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد، بعبارت دیگر، میل خورشید به بیشترین مقدار خود یعنی (۲۳°/۴۵+ = δ) می‌رسد، شکل (۴۰-۵). در اینحالت، بیشترین وسعت از ناحیهٔ قطب شمال جغرافیایی یعنی تمام منطقهٔ منجمدهٔ شمالی در روشنی دایم خورشید قرار می‌گیرد، و برعکس بیشترین سطح از ناحیهٔ قطب جنوب جغرافیایی یعنی تمام منطقهٔ منجمدهٔ جنوبی در تاریکی دایم شب فرو می‌رود. در این وضعیت، ارتفاع خورشید در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی، به بیشترین اندازهٔ خود می‌رسد.

از اوّل تابستان به بعد، خورشید تدریجاً به‌امتداد سطح دایرهٔ استوا نزدیکتر شده، حالت شکل (۳۹-۵) دوباره تکرار می‌گردد. در اینحالت نقطهٔ قطب شمال،



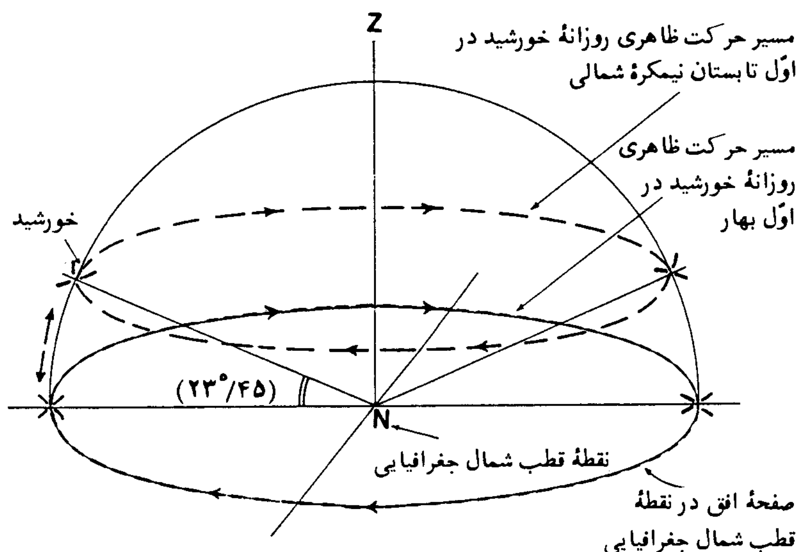

**شکل (۴۰-۵)—وضعیت تابش نور خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی در اوّل تابستان نیمکرهٔ شمالی.**

همچنان رو به خورشید خواهد بود امّا به‌مرور از وسعت مناطق اطراف قطب شمال جغرافیایی که در روشنی دایمی خورشید قرار دارند، کاسته می‌شود. به همین ترتیب نقطهٔ قطب جنوب جغرافیایی همچنان در تاریکی واقع است، امّا از وسعت مناطقی در آن که در تاریکی دایم قرار دارند کم می‌شود.

بعد از فصل تابستان، در اعتدال پاییزی در اوّل پاییز، حالت شکل (۳۶-۵) مجدداً تکرار می‌گردد.

حال که چگونگی شب و روز طولانی قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی روشن شده است، می‌توان وضعیت حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را تصور کرد

تصور کنید که ناظری در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی، قرار گرفته است. درمدتی

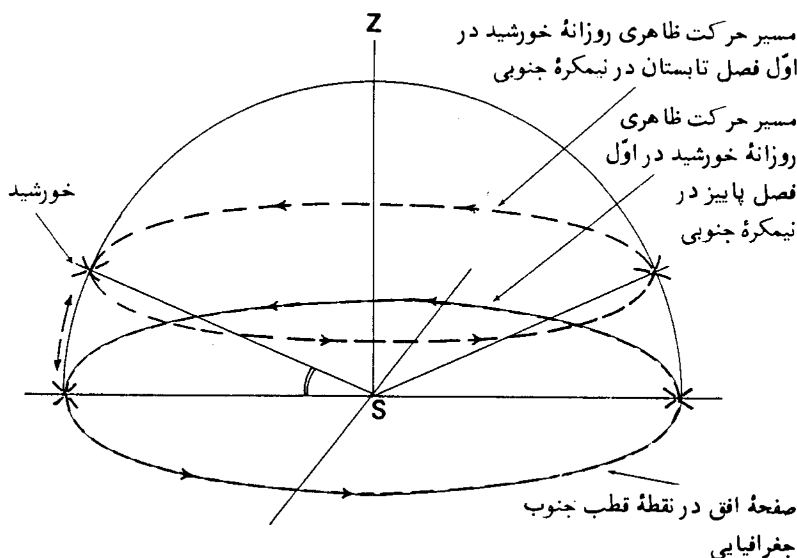



**شکل (۴۱-۵)—مسیر حرکت ظاهری خورشید در بیست‌وچهارساعت شبانه‌روز در روز طولانی قطب شمال جغرافیایی.**

که روز طولانی قطبی ادامه دارد، خورشید همیشه روبروی نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی، از دوردست و از نقطهٔ ثابتی می‌تابد. امّا ناظر مستقر در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی، در طول بیست‌وچهارساعت حرکت چرخشی زمین، خورشید را در یک مسیر دایره‌ای شکل به‌موازات سطح افق در حرکت می‌بیند، شکل (۴۱-۵). البته این حرکت، ناشی از حرکت وضعی زمین است و به همین علت به‌نام حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید، نامیده می‌شود. در این شکل، فقط مسیرهای اوّل تابستان و اوّل بهار نشان داده شده است و مسیرهای سایر ایام بین این دو مسیر قرار می‌گیرند. چنانکه در شکل (۴۱-۵) ارائه شده، جهت حرکت ظاهری خورشید همسوی حرکت عقربه‌های ساعت است.

به همین ترتیب مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در نقطهٔ قطب جنوب جغرافیایی در شکل (۴۲-۵) نمایانده شده که عکس حرکت عقربه‌های ساعت در آنجاست.

چنانکه ناظر مربوط، در عرضهای جغرافیایی کمتر از ۹۰ درجهٔ شمالی (نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی) و بیشتر از ۶۶°/۵۵ شمالی (مدار قطب شمال) قرار گیرد،

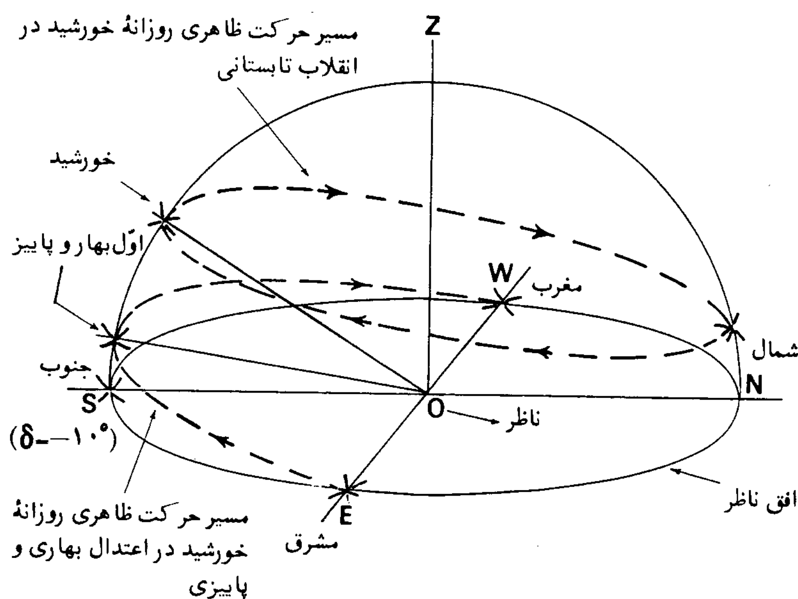



**شکل (۵-۴۲) — مسیر حرکت ظاهری خورشید در بیست‌وچهارساعت شبانه‌روز در روز طولانی قطب جنوب جغرافیایی.**

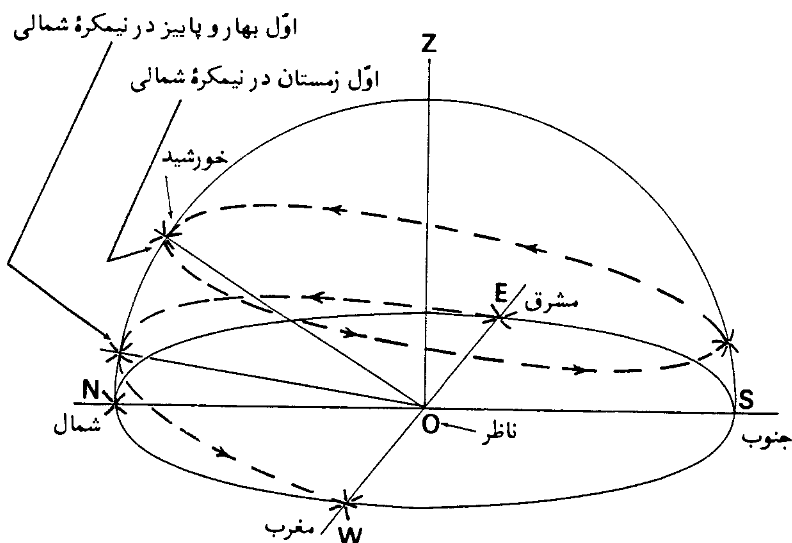
خورشید دوباره بنظر او مسیری دایره‌ای راظاهراً خواهد پیمود. امّا در اینحالت، سطح مسیر دایره‌ای، به‌موازات سطح افق نبوده بلکه نسبت به‌آن متمایل است. این مطلب در شکل (۵-۴۳) برای مدار ۸۰ درجهٔ شمالی و در شکل (۵-۴۴) برای مدار ۸۰ درجهٔ جنوبی نمایانده شده است. همچنین مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید برای مدار ۷۰ درجهٔ شمالی و جنوبی، قبلا در شکلهای (۲-۱۶) و (۲-۲۱) در مطلب شمارهٔ (۶) در فصل دوّم آمده است.

چنانکه از شکل (۵-۴۳) پیداست، مناطق واقع بر مدار ۸۰درجهٔ شمالی، هم دارای شب و روز طولانی قطبی است و هم دارای شب و روزهای ۲۴ ساعتی، و در اوّل بهار و پاییز، طول شب و روز برابر است. بنابراین، زمان شب و روز طولانی قطبی درمحلهای واقع بر مدار ۸۰ درجه شمالی و یا جنوبی کمتر از شش ماه است.

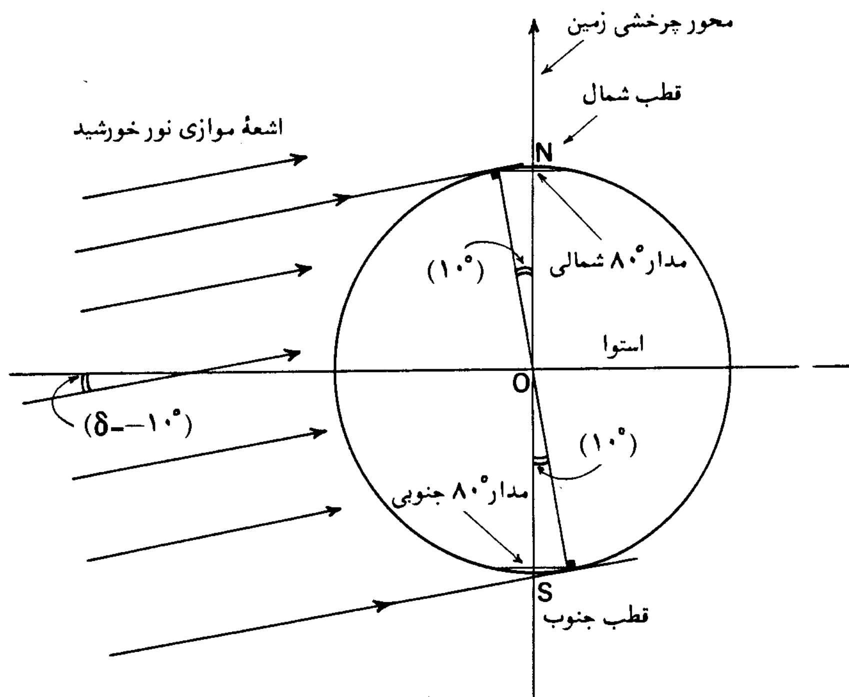
چنانچه درشکل (۵-۴۵) دیده می‌شود، هنگامی که میل خورشید از صفر درجه در اعتدال پاییزه به ۱۰°— درحدود ۲۸ مهرماه (۲۰ اکتبر) می‌رسد، شب طولانی




**شکل (۵-۴۳) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در عرض جغرافیایی ۸۰ درجهٔ شمالی.**




**شکل (۵-۴۴) — مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در عرض جغرافیایی ۸۰ درجهٔ جنوبی.**

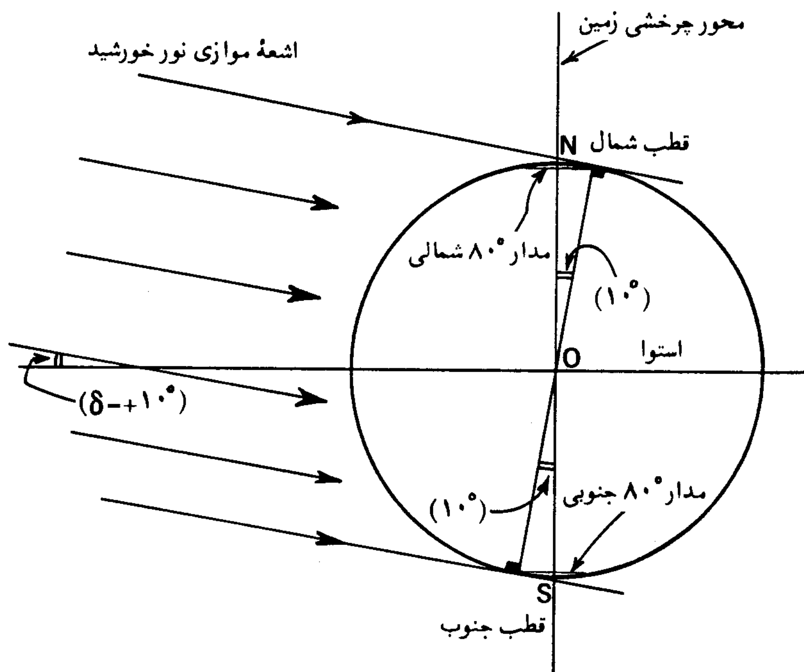



**شکل (۴۵ـ۵)—وضعیت تابش اشعهٔ موازی خورشید در مدارهای ۱۰ درجهٔ شمالی و جنوبی، زمانی که میل خورشید °۱۰— است.**

قطبی در مناطق واقع بر مدار°۸۰ شمالی آغاز می‌شود و برعکس روز طولانی قطبی در مدار°۸۰ جنوبی، آغاز می‌گردد. شب طولانی قطبی در مدار°۸۰ شمالی و روز طولانی قطبی در مدار°۸۰ جنوبی تا حوالی چهارم اسفندماه (۲۳ فوریه) که میل خورشید دوباره °۱۰ — می‌شود، بطول می‌انجامد.

با این توصیف مدت شب طولانی قطبی در مناطق واقع بر مدار°۸۰ شمالی و روز طولانی قطبی بر مناطق واقع بر مدار°۸۰ جنوبی درحدود ۱۲۷ روز بطول می‌انجامد.

از نقطهٔ اعتدال بهاره به بعد که میل خورشید صفر درجه است تا ۲۷ فروردین ماه (۱۶ آوریل) که میل خورشید تقریباً برابر °۱۰+ می‌شود، در مناطق واقع بر مدار °۸۰ شمالی، خورشید بصورت معمولی، دارای طلوع و غروب می‌باشد و طول شبانه روز ۲۴ ساعت است، شکل (۴۶ـ۵). البته هرچه به ۲۷ فروردین ماه نزدیک‌تر می‌شود، طول روز افزایش یافته، از مدت شب کاسته می‌گردد. در این تاریخ، خورشید درمناطق




**شکل (۴۶-۵) — وضعیت تابش اشعهٔ موازی خورشید در مدارهای ۱۰ درجهٔ شمالی و جنوبی، زمانی که میل خورشید °۱۰+ است.**

واقع بر مدار °۸۰ جنوبی غروب می کند و شب طولانی این مناطق آغاز می‌شود.

از ۲۷ فروردین ماه به بعد که میل خورشید از °۱۰+ بیشتر می‌شود، خورشید در مناطق واقع بر مدار °۸۰ شمالی، غروب ندارد و همیشه در پهنهٔ آسمان دیده می‌شود. بنابراین روز طولانی قطبی در این مناطق در ۲۷ فروردین ماه شروع می‌شود و تا ششم شهریورماه (۲۸ اوت) که میل خورشید دوباره °۱۰+ می‌شود بطول می انجامد. از این تاریخ به‌بعد مجدداً خورشید دارای طلوع و غروب است.

در ۶ شهریورماه، خورشید بار دیگر در مناطق واقع بر مدار °۸۰ جنوبی، طلوع می کند و شب طولانی این مناطق بپایان می‌رسد. بنابراین مدت روز طولانی قطبی در مناطق واقع بر مدار ۸۰ شمالی و شب طولانی قطبی، در مناطق واقع بر مدار °۸۰ جنوبی

درحدود ۱۳۵ روز، بطول می‌انجامد.

البته باید توجه داشت که مدت شش ماههٔ شب و روز طولانی قطبی در قطبهای شمال و جنوب و همچنین مدتهای ذکر شده برای مناطق واقع بر مدارهای °۸۰ شمالی و جنوبی تقریبی است و تصحیح لازم برای اثر شکست نور در اتمسفر کرهٔ زمین و اندازهٔ ظاهری قرص خورشید[1] در آنها، صورت نگرفته است.

این مطلب در فصل ششم کتاب، تحت بررسی واقع شده است.

حال که وضعیت حرکت ظاهری خورشید در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز در مناطق قطبی روشن شد، می‌توان روشهای تعیین جهت قبله در این مناطق را تشریح کرد.

بجز در خود قطبهای جغرافیایی، روشهای تعیین جهت قبله را که قبلا بیان شده است، می‌توان در مناطق منجمدهٔ شمالی و جنوبی نیز بکار گرفت. ازجمله می‌توان، با استفاده از امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم در روز هشتم خردادماه درساعت ۹ و۱۷/۵۸ دقیقهٔ صبح و یا در روز بیست‌وپنجم تیرماه درساعت ۹ و۲۶/۲۷ دقیقه صبح به‌وقت گرینیچ، که قبلا در مثال (۱۸ـ۵) محاسبه شد، جهت قبله را در مناطق منجمدهٔ شمالی تعیین کرد. البته این روش خاص را نیز می‌توان در خود نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی بکار گرفت. اوقات مربوط به‌مناطق منجمدهٔ جنوبی در فصل نهم کتاب آمده است. بدیهی است این روش، در مدت شبهای طولانی قطبی، نمی‌تواند کاربرد داشته باشد.

امّا درخود نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی، می‌توان روش زیر را بکارگرفت:

در این روش که فقط در مدت روز طولانی قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی کاربرد دارد، ابتدا می‌بایست زمان عبور خورشید از نصف‌النهار گرینیچ در روز مربوط را محاسبه کرد. این مطلب درمثال زیر آمده است:

**مثال (۱۹ـ۵)**—وقت عبور خورشید از نصف‌النهار گرینیچ را در قطب شمال جغرافیایی در روز ۱۱ خردادماه (اوّل ژوئن) به‌وقت گرینیچ محاسبه کنید.

**راه‌حل**—در روز اوّل ژوئن، تعدیل زمان ازجدول (۳ـ۷) برابر (ثانیه ۲۵ و دقیقه ۲+) است. لذا با استفاده ازفرمول (۳ـ۱) خواهیم داشت:

$$۱۲ = GMT + ۲/۴۲ + ۴ \times ۰$$

GMT = ساعت ۱۱ و ۵۷/۵۸ ثانیهٔ صبح

بنابراین چنانکه ناظری در نقطهٔ قطب شمال، ساعت خود را دقیقاً با وقت گرینیچ میزان کند، می‌تواند با استفاده از امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم، در وقت محاسبه‌شده،

1. Apparent Size of the Sun

با فرض کروی شکل بودن زمین، امتداد نصف‌النهار گرینیچ را مشخص کند.

امّا می‌دانیم که کلیهٔ نصف‌النهارات، همدیگر را در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی قطع می‌کنند، لذا مطابق آنچه که در شکل (۴۷-۵) می‌بینید، می‌توان امتداد نصف‌النهار مکه ۳۹/۹° شرقی را نسبت به امتداد نصف‌النهار گرینیچ مشخص کرد.

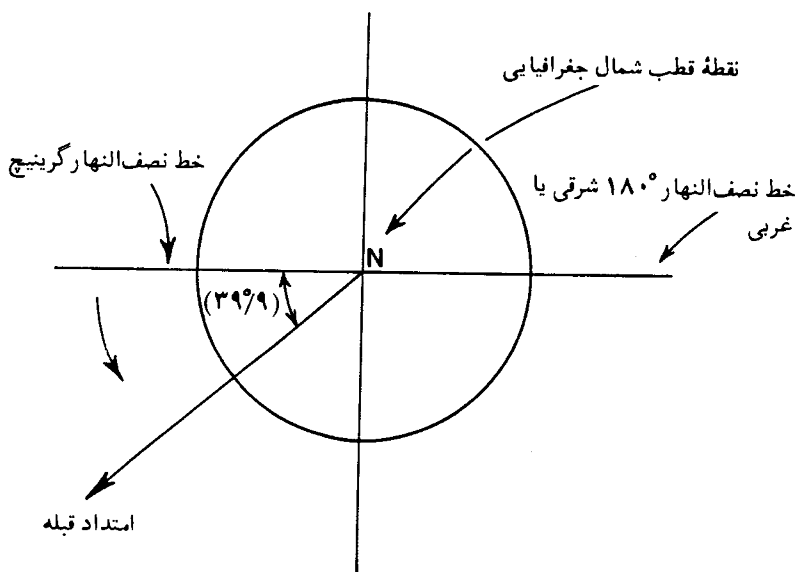
با توجه به آنچه که گفته شد، می‌توان روش تعیین جهت قبله در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را به‌شرح زیر خلاصه کرد:

۱. میزان کردن ساعت به‌وقت گرینیچ.

۲. محاسبهٔ وقت عبور خورشید از نصف‌النهار گرینیچ در روز مربوط، به‌شرحی که آمد.

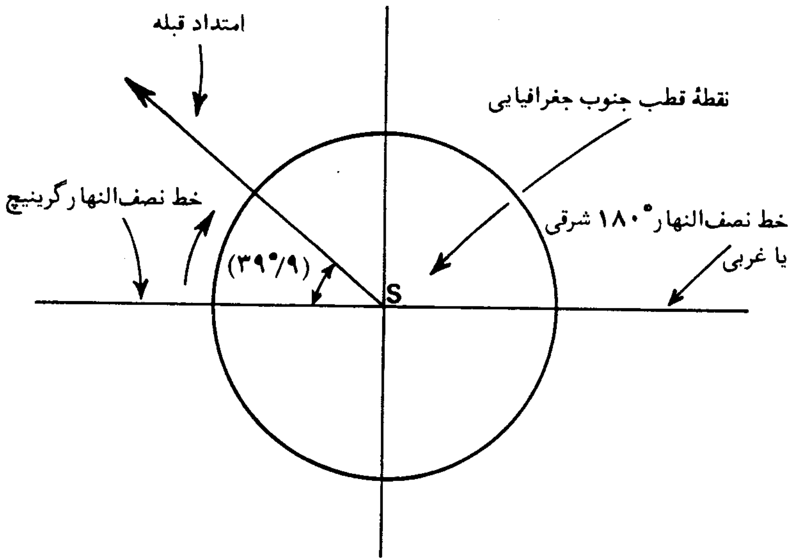
۳. تعیین امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم در وقت محاسبه شده، که امتداد سایه، امتداد نصف‌النهار ۱۸۰° شرقی و یا غربی می‌باشد و جهت عکس امتداد سایه، امتداد نصف‌النهار گرینیچ است.

۴. سپس در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی خطی را چنان رسم می‌کنیم که در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت (در قطب شمال جغرافیایی) زاویه‌ای برابر ۳۹/۹° با امتداد نصف‌النهار گرینیچ بسازد. این خط جهت قبله است. در قطب جنوب




شکل (۴۷-۵) — جهت قبله در نقطهٔ قطب شمال جغرافیایی نسبت به‌امتداد نصف‌النهار گرینیچ.

جغرافیایی، این خط در جهت حرکت عقربه های ساعت ترسیم می‌شود، شکل (۴۸-۵).




شکل (۴۸-۵) — جهت قبله در نقطهٔ قطب جنوب جغرافیایی نسبت به امتداد نصف‌النهار گرینیچ.

## فصل ششم

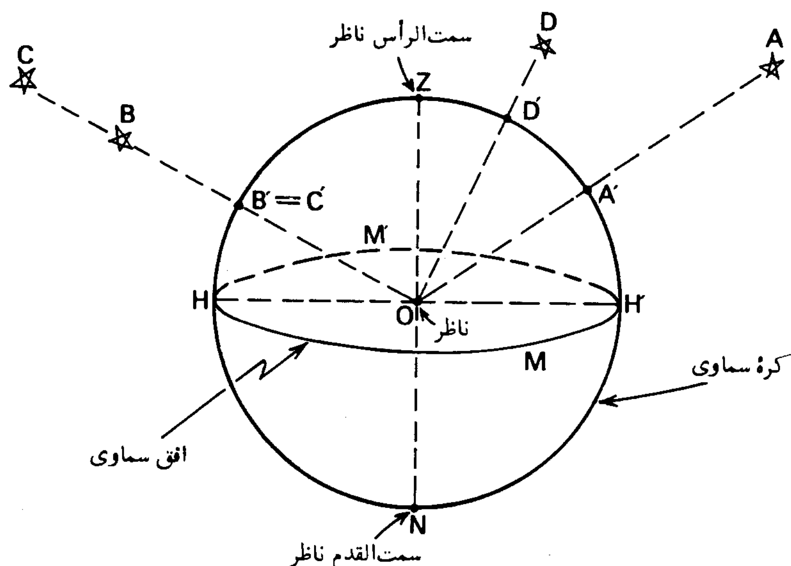
# شرح پاره‌ای از اصطلاحات نجومی

تا بحال در فصلهای قبلی به‌اصطلاحات نجومی متعددی برخورد کرده‌ایم که شرح آنها در این فصل آمده است. البته در این فصل، منظور پرداختن به‌نجوم عملی[1] نیست و فقط شرح اصطلاحات مورد لزوم در موضوع جهت‌یابی و قبله‌یابی عنوان شده است. بدین ترتیب، خواننده، تا حد زیادی از مراجعه به‌کتابهای دیگر، بی‌نیاز می‌شود.

## ۱. کرهٔ سماوی[2]

در شبهای صاف و بدون ابر، با چشم غیرمسلح، هزاران ستاره را می‌توان در پهنهٔ آسمان دید. تعداد ستارگان قابل رؤیت، با وسایل نجومی، به‌میلیونها می‌رسد. این ستارگان نسبت به‌ناظر، دارای فواصل برابر نیستند، بلکه در فواصل مختلف، قرار دارند. امّا آنچه که برای ناظر مهم است، وضعیت و جهت ستارگان نسبت به‌همدیگر است، نه فواصل آنها. بنابراین می‌شود تصور کرد که همهٔ ستارگان بر کره‌ای فرضی قرار داشته باشند و ناظر در مرکز آن باشد. چنین کره‌ای که کلیهٔ ستارگان بر روی آن تصویر شده و یا مورد مطالعه قرار می‌گیرند، کرهٔ سماوی نامیده می‌شود. چون فقط جهت ستارگان برای ناظر مهم است. لذا شعاع کرهٔ سماوی اختیاری است و با هر طولی می‌توان آن را در نظر گرفت. در شکل (۱-۶)، چهار ستارهٔ A، B، C و D با فواصل مختلف نسبت به‌ناظر مستقر در نقطهٔ O، تصویر شده‌اند. از آنجایی که فواصل، مورد نظر نیستند، لذا می‌توان چهار ستاره را بر کره‌ای فرضی با شعاع اختیاری در نقاط A′ ، B′ ، C و D و به‌مرکز،

1. Practical (Field) Astronomy 2. Celestial Sphere

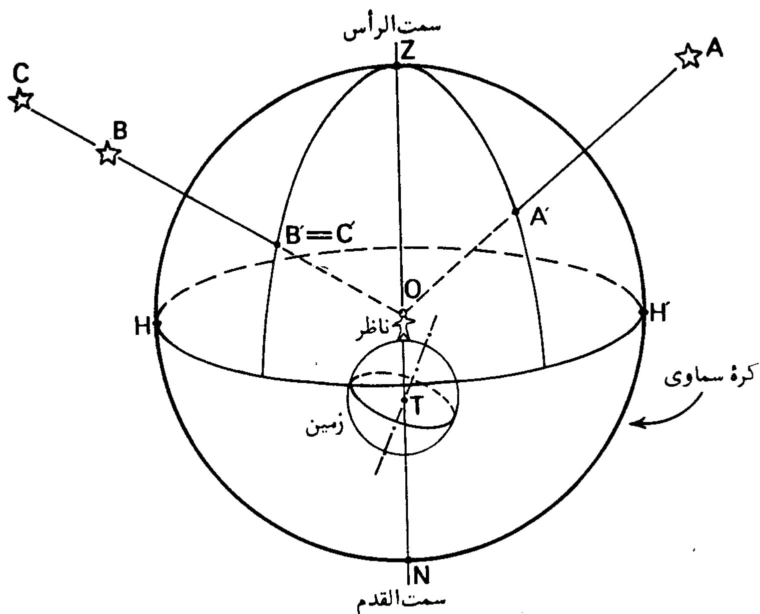



**شکل (۱ـ۶) – چگونگی تصویر ستارگان مختلف بر کرهٔ سماوی.**

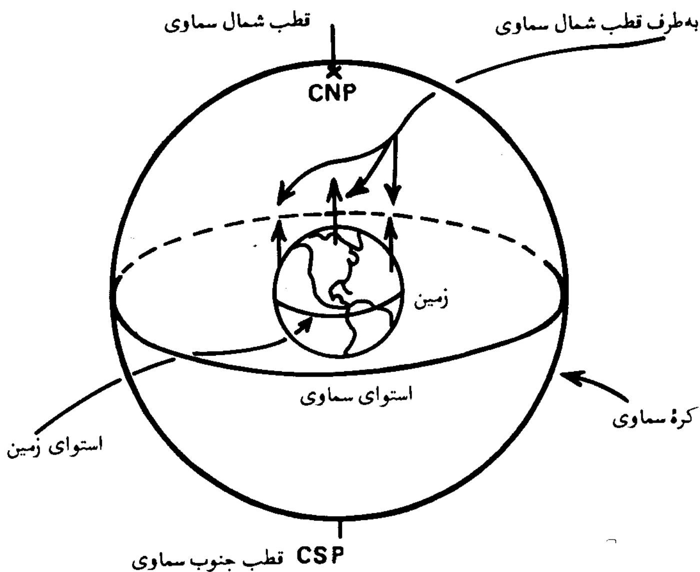
تصویر کرد. چنانکه می‌بینیم ستارگان B، C دارای جهت یکسانی هستند و لذا بر روی کرهٔ سماوی، در یک نقطه قرار می‌گیرند؛ بعبارت دیگر نقاط B́ و Ć بر هم منطبق هستند.

طول شعاع کرهٔ زمین در مقایسه با فواصل ستارگان از زمین، آنقدر کوچک است که می‌توان بیشتر اوقات، بجای قرار دادن ناظر در مرکز کرهٔ سماوی، کرهٔ زمین را در مرکز آن تصور کرد، شکلهای (۲ـ۶) و (۳ـ۶).

از آنجایی که اندازهٔ شعاع کرهٔ سماوی اختیاری است، لذا می‌توان اندازهٔ آن را بینهایت نیز، فرض کرد. در این صورت کلیهٔ خطوط موازی، همدیگر را در نقطه‌ای بر روی چنین کره‌ای با شعاع بینهایت قطع خواهند کرد. بعنوان مثال چنانکه در شکل (۳ـ۶) نشان داده شده است، خطوطی که در نقاطی بر روی زمین به‌موازات محور زمین درنظر گرفته شوند، کرهٔ سماوی را در همان نقطه‌ای قطع می‌کنند که امتداد محور زمین آن را قطع می‌کند. البته نشان دادن این مطلب در یک شکل که ناچار، شعاع بینهایت کرهٔ سماوی در مقایسه با شعاع کرهٔ زمین، بصورت طولی محدود درنظر گرفته می‌شود، ممکن نیست.




شکل (۲-۶)— وضعیت ناظر و کرهٔ زمین در کرهٔ سماوی.




شکل (۳-۶)— تصور نحوهٔ قرارگیری زمین در مرکز کرهٔ سماوی.

## ۲. سمت‌الرأس[1] و سمت‌القدم[2]

نقطه‌ای که بر روی کرهٔ سماوی در امتداد خط قائم بر بالای سر ناظر قرار می‌گیرد، سمت‌الرأس، نامیده می‌شود؛ بعبارت دیگر، امتداد خط شاقولی که از ناظر گذر می‌کند، کرهٔ سماوی را در سمت‌الرأس، قطع می‌کند.

نقطهٔ مقابل سمت‌الرأس ناظر بر روی کرهٔ سماوی که در طرف زیر پای او قرار می‌گیرد، سمت‌القدم نامیده می‌شود. از آنجایی که امتداد خط شاقول از مرکز ثقل زمین می‌گذرد، بنابراین به‌یک شیئ، وقتی قائم گفته می‌شود که امتداد آن، از مرکز ثقل زمین بگذرد.

در شکل (۱-۶) ناظر در نقطهٔ O مرکز کرهٔ سماوی، نقطهٔ بالای آن در امتداد خط قائم یعنی نقطهٔ Z ، سمت‌الرأس ناظر و نقطهٔ زیر پای ناظر در امتداد خط قائم یعنی نقطهٔ N سمت‌القدم ناظر است. سمت‌الرأس و سمت‌القدم ناظر در شکل (۲-۶) نیز نشان داده شده است.

## ۳. افق سماوی[3]

صفحه‌ای که از مرکز زمین می‌گذرد و بر خط واصل بین سمت‌الرأس و سمت‌القدم، عمود است، کرهٔ سماوی را در دایرهٔ عظیمه‌ای قطع می‌کند که افق سماوی نامیده می‌شود. در شکل (۱-۶)، دایرهٔ عظیمهٔ HMH'M' افق سماوی است که صفحهٔ این دایره، بر خط ZON در نقطهٔ O عمود است.

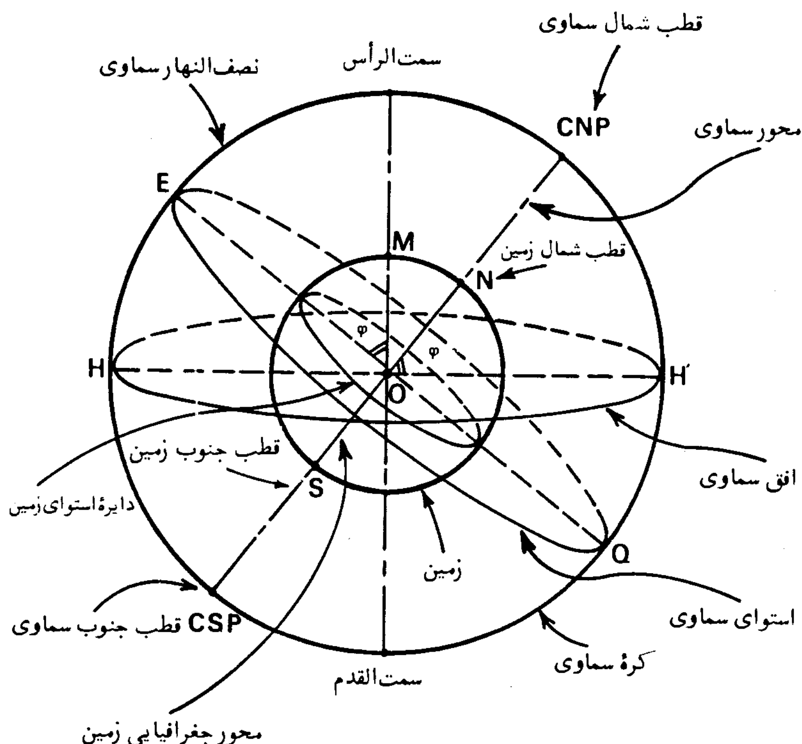
افق سماوی را، افق حقیقی[4] نیز می‌نامند. همچنین نام دیگر افق سماوی، افق نجومی[5] است که توسط منجمین تعریف شده است و به‌منظور یکی از مشخصه‌های دستگاه مختصات برای تعیین وضعیت اجرام سماوی، در نظر گرفته می‌شود.

## ۴. قطبهای زمین[6] و دایرهٔ استوای[7] زمین

محور چرخشی زمین، آن را در دو نقطه، قطع می‌کند که قطبهای زمین نام

1. Zenith 2. Nadir 3. Celestial Horizon 4. True (Rational) Horizon
5. Astronomical Horizon 6. Terrestial Poles 7. Equator

دارند. زمین حول محوری ثابت، دارای حرکتی دورانی است که جهت حرکت آن از مغرب به‌مشرق، می‌باشد. یک دوران کامل زمین حول محور چرخشی آن ۲۴ ساعت طول می‌کشد، که اصطلاحاً یک روز و یا یک شبانه‌روز را بوجود می‌آورد. محور ثابتی که زمین حول آن دارای حرکت چرخشی است، محور جغرافیایی[1] نامیده می‌شود. همچنین قطبهای زمین به‌نام قطبهای جغرافیایی[2] نیز معروفند. قطبی که در جهت شمال قرار گرفته به‌نام قطب شمال جغرافیایی[3] و دیگری که در جهت جنوب است به‌نام قطب جنوب جغرافیایی[4] است. در شکل (۴-۶) وضعیت قطبها و محور جغرافیایی زمین در کرهٔ سماوی نمایانده شده است.




شکل (۴-۶)—وضعیت قطبها و دایرهٔ استوای زمین درکرهٔ سماوی نسبت به‌قطبهای سماوی و استوای سماوی.

1. Geographical Axis 2. Geographical Poles 3. North Geographical Pole
4. South Geographical Pole

دایرهٔ استوای زمین، دایرهٔ عظیمه‌ای است که صفحهٔ آن برمحورچرخشی زمین عمود است و بدین ترتیب فاصلهٔ قطبهای جغرافیایی زمین، از آن برابر است.

امتداد و جهت محورچرخشی زمین درفضا ثابت است، امّا محل قطبهای جغرافیایی بر روی زمین، درسالهای مختلف تغییر می‌کند. درحقیقت، بعلت حرکت لرزشی[1] زمین، محل برخورد محور چرخشی زمین با آن ثابت نیست و نقاط مختلفی بر روی زمین در وضعیت قطبهای زمین قرار می‌گیرند. حرکت لرزشی زمین قبلا نیز در فصل اوّل، در بخش (۴-۱) مورد بحث قرار گرفت و دیدیم که تغییرات کم‌عرض جغرافیایی، ناشی از آنست. مقدار تغییر محل قطبهای جغرافیایی زمین، از زمانی‌که نخستین اندازه‌گیریهای تغییرات عرض جغرافیایی صورت گرفته، درحدود ۵۰ فوت بوده است.

## ۵. قطبهای‌سماوی[2] و محور سماوی[3]

چنانکه محور جغرافیایی زمین را از هر دو طرف امتداد دهیم، کرهٔ سماوی را در دو نقطه به‌نامهای قطب شمال سماوی[4] و قطب جنوب سماوی[5]، قطع می‌کند، شکلهای (۳-۶) و (۴-۶).

محوری که قطبهای سماوی را به‌همدیگر وصل می‌کند، محورسماوی و یا محور عالم نامیده می‌شود.

محورسماوی بر افق سماوی، عمود نیست بلکه نسبت به‌آن متمایل است و زاویهٔ بین محور سماوی و افق سماوی، برابر عرض جغرافیایی محل است. این مطلب در شکل (۴-۶) درمورد نقطهٔ M بر روی زمین نشان داده شده است که در آن ($\varphi$) عرض جغرافیایی نقطهٔ M است.

## ۶. استوای‌سماوی[6]

چنانکه صفحهٔ دایرهٔ استوای زمین از هرسو امتداد داده شود، کرهٔ سماوی را در دایرهٔ عظیمه‌ای قطع خواهد کرد که به‌استوای سماوی، موسوم است. بدین ترتیب

1. Wobbly Motion 2. Celestial Pole 3. Celestial Axis
4. Celestial North Pole (CNP) 5. Celestial South Pole (CSP)
6. Celestial Equator

صفحهٔ استوای سماوی بر صفحهٔ استوای زمین منطبق و بر محور سماوی، عموداست. در شکل (۴-۶)، دایرهٔ عظیمهٔ EQ ، استوای سماوی است.

## ۷. مایل دریایی[1]

یکی ازواحدهای اندازه‌گیری مسافت در دریانوردی و هوانوردی، مایل دریایی است که برابر با طول قوس یک دقیقه‌ای از دایره‌ای عظیمه بر روی کرهٔ زمین است. از آنجاییکه زمین به‌شکل کرهٔ کاملی نیست، لذا این واحد طول، برحسب دایرهٔ عظیمهٔ انتخاب شده، متغیر است. چنانکه شعاع زمین ۶۳۷۰ کیلومتر فرض شود، طول قوس یک دقیقه‌ای دایرهٔ عظیمهٔ مربوط. خواهد شد:

$$\text{یک مایل دریایی} = \frac{\text{محیط دایرهٔ عظیمه}}{۳۶۰ \times ۶۰}$$

$$\text{یک مایل دریایی} = \frac{۲ \times ۶۳۷۰ \times \pi}{۳۶۰ \times ۶۰} = ۱۸۵۲ \text{ متر}$$

واحد انگلیسی مایل دریایی برابر با ۱۸۵۳/۲ متر و یا ۶۰۸۰ فوت است که به‌مایل ادمیرالتی[2] موسوم است. واحد آمریکایی مایل دریایی برابر ۱۸۵۳/۲۴۸ متر و یا ۶۰۸۰/۲۰ فوت است که این واحد، دیگر بصورت رسمی، در آمریکا کاربرد ندارد. واحد بین‌المللی مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر و یا ۶۰۷۶/۱۱۵ فوت است که از اوّل ماه ژوئیه سال ۱۹۵۹، در کشور آمریکا، بصورت رسمی بکار می‌رود.

## ۸. افق محسوس[3]

صفحه‌ای که بر محل استقرار ناظر گذشته و بر امتداد خط شاقول و یا جهت جاذبهٔ زمین[4] عمود باشد، افق محسوس، نامیده می‌شود. با این توصیف، صفحهٔ افق محسوس، بر سطح زمین مماس بوده، بر خط واصل بین سمت‌الرأس و سمت‌القدم در نقطهٔ استقرار ناظر، عمود است. صفحهٔ افق محسوس، بعنوان سطح مبنا[5] در موارد فنی و علمی در نظر گرفته می‌شود. چنانکه در شکل (۵-۶) نشان داده شده است، صفحهٔ افق

1. Nautical Mile 2. Admiralty Mile 3. Sensible Horizon
4. Direction of Gravity 5. Reference Plane

محسوس، بموازات صفحهٔ افق سماوی است.

## ۹. افق مرئی[1]

خطی که از تلاقی زمین و آسمان در نظر گرفته می‌شود، افق مرئی و یا افق ظاهری[2] نامیده می‌شود. بعبارت دیگر، افق مرئی، حد زمین های مجاور ناظر است که در دوردست برای او قابل رؤیت می‌باشد. افق مرئی برحسب ارتفاع محل ناظر و یا شکل پستی و بلندیهای آن، می‌تواند بصورت صاف و یا ناصاف بوده، در فاصلهٔ نزدیک و یا دور قرار داشته باشد. بعلاوه شکست نور در اتمسفر کرهٔ زمین، می‌تواند شکل افق مرئی را تغییر بدهد و موجب گردد تا برای ناظر امکان داشته باشد ماورای نقاطی را که از نظر هندسی، قابل رؤیت نیستند، ببیند. افق مرئی درشکل (۵ـ۶) برای ناظر واقع در نقطهٔ M نشان داده شده است.

## ۱۰. شیب‌افق[3]

چنانکه بر ارتفاع محل ناظر از نقطهٔM، باندازهٔ فاصلهٔ h افزوده‌شود ($MM'=h$)، خط دید ناظر در افق و یا خط افق مرئی نسبت به‌افق محسوس، شیب پیدا می‌کند. زاویهٔ بین افق محسوس و افق مرئی، شیب افق، نام دارد، شکل (۵ـ۶).

چنانکه ناظری در ارتفاعی برابر h فوت ازسطح زمین قرار گرفته باشد، فاصلهٔ او تا خط افق مرئی (d) برحسب مایل دریایی، برابر است با:

$$d=\sqrt{\frac{۳\times h}{۲}} \qquad (۶\text{ـ}۱)$$

مقدارشیب افق ($\beta$) برحسب دقیقهٔ قوسی، برابر است با:

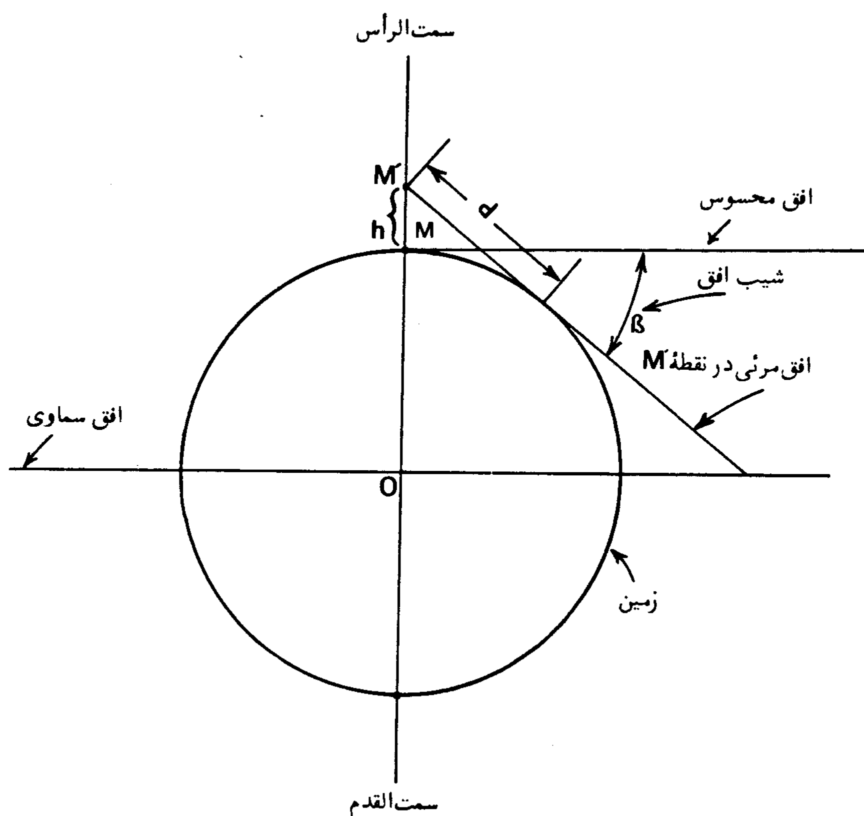
$$\beta=\frac{۳۴۳۸}{۳۹۶۰}\sqrt{\frac{۳h}{۲}} \qquad (۶\text{ـ}۲)$$

و یا

$$\beta=\frac{۳۴۳۸}{۳۹۶۰}d\simeq d \qquad (۶\text{ـ}۳)$$

1. Visible Horizon 2. Apparent Horizon 3. Dip of the Horizon

بنابراین فاصلهٔ ناظر تا خط افق مرئی، برحسب مایل دریائی، برابر شیب افق برحسب دقیقهٔ قوسی است.




شکل (۵ـ۶) — نمایش افق‌های مختلف در محل ناظر در نقطه‌ای مانند M.

## ۱۱. دایرهٔ ارتفاع[1]

دایرهٔ ارتفاع و یا دایرهٔ عمودی، به‌دایرهٔ عظیمه‌ای گفته می‌شود که بر روی کرهٔ سماوی قرار داشته و از سمت‌الرأس و سمت‌القدم ناظر بگذرد. بدین ترتیب دایره‌های ارتفاع، بر افق سماوی عمودند.

1. Vertical Circle

## ۱۲. نصف‌النهار سماوی[1]

نصف‌النهار سماوی یک ناظر، دایرهٔ عظیمه‌ای است که از سمت‌الرأس و سمت‌القدم ناظر و قطبهای سماوی می‌گذرد. بنابراین نصف‌النهار سماوی، دایرهٔ عمودی است که از قطبهای سماوی هم می‌گذرد. در شکل (۴-۶)، دایرهٔ (HEH'Q) نصف‌النهار سماوی است.

بر روی سطح زمین، نصف‌النهارات، خطوطی فرضی‌اند که از قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی گذشته و همه جا در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی واقعند. بنابراین خط نصف‌النهار یک ناظر، همان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است که از محل ناظر، می‌گذرد. در حقیقت خط شمال و جنوب جغرافیایی، از تلاقی دایرهٔ نصف‌النهار با صفحهٔ افق بدست می‌آید.

## ۱۳. سطح نصف‌النهار اصلی[2]

سطح نصف‌النهار اصلی، دایرهٔ عظیمه‌ای است که صفحهٔ آن بر صفحهٔ نصف‌النهار سماوی عمود است و از نقاط سمت‌الرأس ،سمت‌القدم و نقاط مشرق و مغرب واقعی، می‌گذرد. بنابراین سطح نصف‌النهار اصلی، دایرهٔ عمودی است که بر دایرهٔ نصف‌النهار سماوی عمود می‌باشد.

خطی که نقاط مغرب و مشرق واقعی را به همدیگر متصل می کند از تلاقی سطح نصف‌النهار اصلی با صفحهٔ افق بدست می‌آید. همچنین این خط، از فصل مشترک صفحهٔ استوای سماوی با صفحهٔ افق تشکیل می‌گردد.

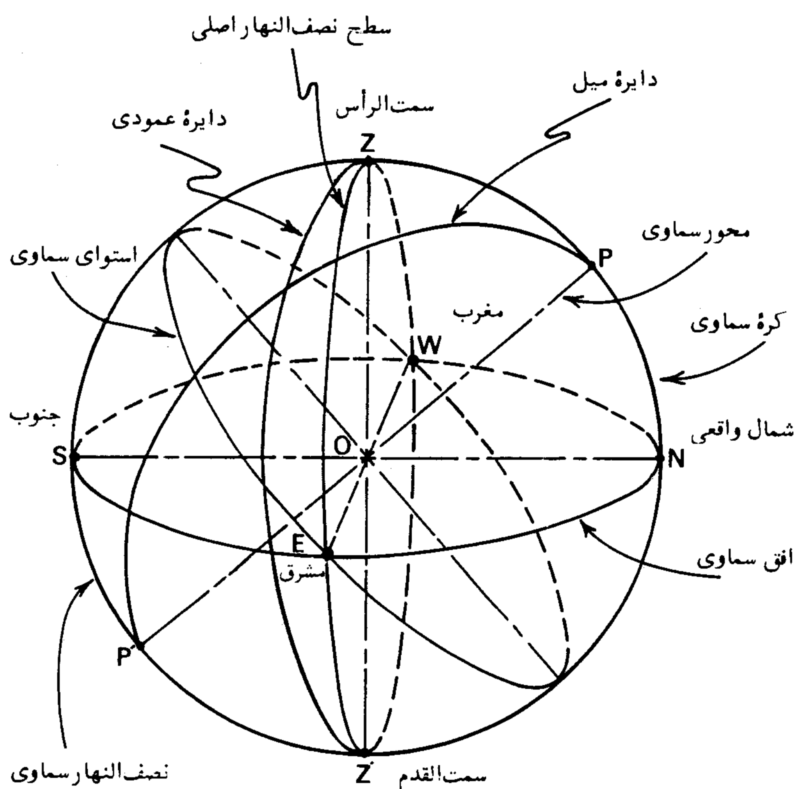
## ۱۴. جهتهای شمال ، جنوب ، مغرب و مشرق واقعی

چنانکه در فصل دوّم تشریح شد، اصطلاح شمال واقعی[3]، به‌منظور تمایز از شمال مغناطیسی بکار می‌رود. نقاط شمال و جنوب واقعی و یا جغرافیایی از تصویر قطبهای جغرافیایی بر سطح افق بدست می‌آیند. خط نصف‌النهار ناظر، محل تلاقی صفحهٔ نصف‌النهار ناظر و صفحهٔ افق است که در دو سوی آن، نقاط شمال و جنوب

1. Celestial Meridian 2. Prime Vertical 3. True North

جغرافیایی قرار دارد. در شکل (۶-۶) جهت از نقطهٔ Z به‌نقطهٔ P که بر صفحهٔ افق تصویر گردد، جهت شمال و برعکس جهت از نقطهٔ P به‌نقطهٔ Z، جهت جنوب است.

خط مشرق ـ مغرب واقعی از برخورد سطح نصف‌النهار اصلی با سطح افق بدست می‌آید. نقاط مشرق و مغرب واقعی، در دو انتهای این خط قرار دارند. از آنجایی که صفحهٔ نصف‌النهار سماوی، هم بر صفحهٔ افق و هم بر صفحهٔ استوای سماوی عمود است، بنابراین محل برخورد دایرهٔ استوای سماوی و دایرهٔ افق نیز نقاط مشرق و مغرب واقعی را تشکیل می‌دهند، شکل (۶-۶). در این شکل ناظر در نقطهٔ O در مرکز کرهٔ سماوی و بعضی از دایره‌های عظیمهٔ مهم، بر روی کرهٔ سماوی نمایانده شده است.




**شکل (۶-۶) — بعضی از دایره‌های عظیمهٔ مهم و نقاط شمال، جنوب، مغرب و مشرق واقعی بر روی کرهٔ سماوی.**

## ۱۵. عرض جغرافیایی[1]

فاصلهٔ زاویه‌ای هر نقطه‌ای بر روی سطح زمین از دایرهٔ استوا، عرض جغرافیایی ($\varphi$) نامیده می‌شود. عرض جغرافیایی، در امتداد نصف‌النهار محل اندازه‌گیری شده و بسته به‌اینکه محل در شمال دایرهٔ استوا قرار داشته باشد با کلمهٔ شمالی و یا علامت (+) و در صورتیکه در جنوب آن قرار داشته باشد، با کلمهٔ جنوبی و یا علامت (—) مشخص می‌گردد. همچنین زاویهٔ بین سمت‌الرأس و استوای سماوی در یک محل، برابر عرض جغرافیایی محل است، شکل (۴-۶).

## ۱۶. متمم عرض جغرافیایی[2]

متمم عرض جغرافیایی، چنانکه از اسمش پیداست برابر با ($90° - \varphi$) است. همچنین زاویهٔ بین سمت‌الرأس و قطب سماوی برابر متمم عرض جغرافیایی است.

## ۱۷. طول جغرافیایی[3]

زاویهٔ بین نصف‌النهار هر محل و نصف‌النهار مبدء[4]، که نصف‌النهار ثابتی است، طول جغرافیایی محل، نامیده می‌شود. نصف‌النهار مبدء که در سطح جهان مورد قبول قرار گرفته، نصف‌النهار گرینیچ است. نصف‌النهار نقاط مختلف، از صفر تا ۱۸۰ درجه در مشرق و یا مغرب نصف‌النهار مبدء تغییر می‌کند.

## ۱۸. ارتفاع[5]

ارتفاع یک جرم سماوی (مانند خورشید و یا یک ستاره) برابر با فاصلهٔ زاویه‌ای آن، از سطح افق است که در امتداد دایرهٔ عمودی که از آن می‌گذرد، اندازه‌گیری می‌شود، شکل (۷-۶). در این شکل، ارتفاع، با حرف (a) نشان داده شده است.

1. Latitude 2. Co-latitude 3. Longitude 4. Prime (First) Meridian
5. Altitude

**شکل (۷ـ۶) — ارتفاع و فاصلهٔ سمت‌الرأس یک جرم سماوی.**

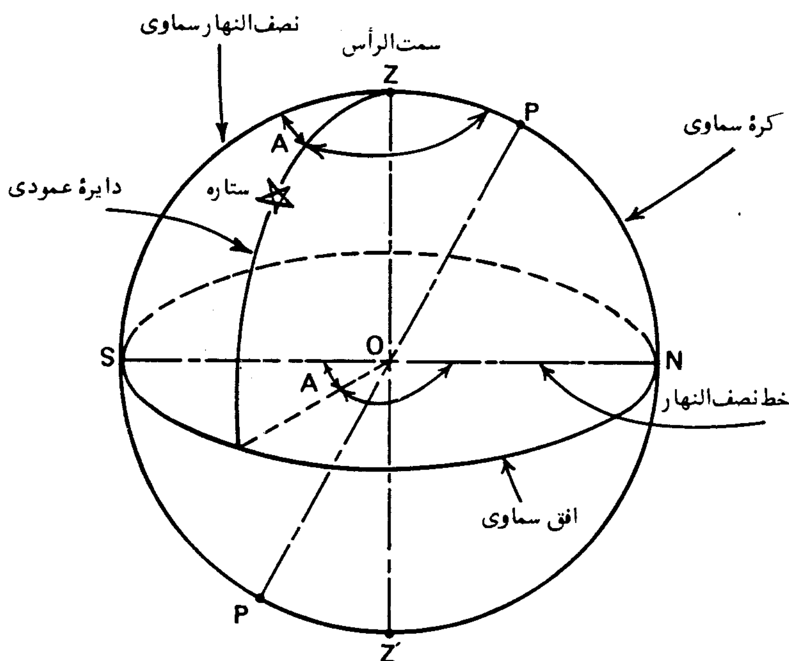
## ۱۹. فاصلهٔ سمت‌الرأس[1]

فاصلهٔ زاویه‌ای یک جرم سماوی از سمت‌الرأس ناظر، به‌فاصلهٔ سمت‌الرأس، موسوم است — شکل (۷ـ۶) — در این شکل فاصلهٔ سمت‌الرأس با حرف (z) نشان داده شده است. فاصلهٔ سمت‌الرأس، متمم ارتفاع می‌باشد، بعبارت دیگر $z = (90^\circ - a)$ است. به همین دلیل فاصلهٔ سمت‌الرأس به‌نام متمم ارتفاع[2] نیز معروف است.

1. Zenith Distance 2. Co-altitude

## ۲۰. سمت[1]

زاویهٔ بین نصف‌النهار سماوی ناظر و دایرهٔ عمودی که از یک جرم سماوی می‌گذرد، سمت جرم سماوی نامیده می‌شود. درشکل (۸ـ۶) سمت با حرف (A) نمایانده شده است.




شکل (۸ـ۶) — سمتِ یک جرم سماوی.

## ۲۱. دایرهٔ میل[2] و یا دایرهٔ ساعتی[3]

دایرهٔ میل و یا دایرهٔ ساعتی یک جرم سماوی، به‌دایرهٔ عظیمه‌ای اطلاق می‌شود که از جرم سماوی و قطبهای سماوی گذر کرده و صفحهٔ آن برسطح دایرهٔ استوای سماوی

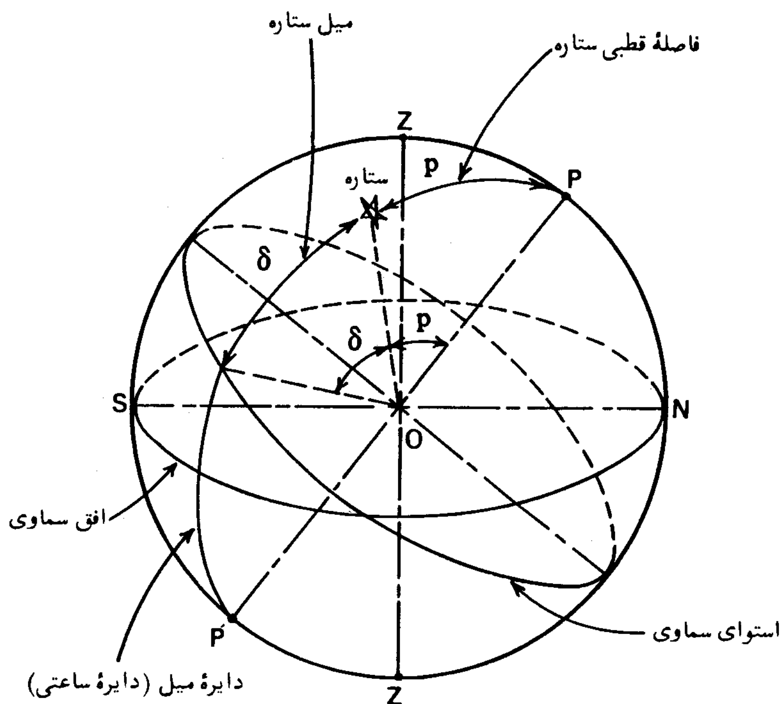
1. Azimuth 2. Declination Circle 3. Hour Circle

عمود باشد، شکل (۹-۶).

## ۲۲. میل[1]

فاصلهٔ زاویه‌ای یک جرم سماوی از استوای سماوی در امتداد دایرهٔ میل، میل نامیده می‌شود.

در شکل (۹-۶)، میل یک ستاره با حرف (δ) مشخص شده است. اندازهٔ میل یک جرم سماوی می‌تواند از صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند و علامت آن درصورتیکه جرم سماوی در شمال استوای سماوی قرار گرفته باشد، مثبت (+) و درصورتیکه در جنوب آن باشد، منفی (−) است. مقادیر میل خورشید، بعداً در همین فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.




**شکل (۹-۶)—دایرهٔ میل (دایرهٔ ساعتی)، میل و فاصلهٔ قطبی یک ستاره.**

1. Declination

## ۲۳. فاصلهٔ قطبی[1]

فاصلهٔ زاویه‌ای یک جرم سماوی از نزدیکترین قطب سماوی به‌آن، در امتداد دایرهٔ میل، فاصلهٔ قطبی نامیده می‌شود. درشکل (۹-۶)، فاصلهٔ قطبی یک ستاره با حرف (p) نمایش داده شده است. فاصلهٔ قطبی یک ستاره، متمم میل آنست $(p = 90^\circ - \delta)$، به همین سبب فاصلهٔ قطبی را متمم میل[2] نیز می‌نامند.

## ۲۴. زاویهٔ ساعتی[3]

زاویهٔ بین دایرهٔ نصف‌النهار سماوی یک ناظر و دایرهٔ ساعتی (دایرهٔ میل) یک جرم سماوی، زاویهٔ ساعتی نامیده می‌شود. درشکل (۱۰-۶) زاویهٔ ساعتی یک ستاره با

دایرهٔ ساعتی (دایرهٔ میل)
سمت‌الرأس
Z
قطب شمال سماوی
h
نصف‌النهار سماوی
P
کرهٔ سماوی
مغرب
W
h
جنوب
S
O
N
شمال
E
مشرق
افق سماوی
P'
قطب جنوب سماوی
Z'
استوای سماوی

شکل (۱۰-۶)— زاویهٔ ساعتی یک ستاره.

1. Polar Distance  2. Co-declination  3. Hour Angle

حرف (h) نشان داده شده است. می‌بایست در مورد مبدء اندازه‌گیری زاویهٔ ساعتی دقت کرد که در موارد گوناگون، متفاوت است. در این شکل زاویهٔ ساعتی از امتداد جنوبی نصف‌النهار سماوی، بطرف مشرق در نظر گرفته شده است.

امّا همیشه در نیمکرهٔ شمالی، زاویهٔ ساعتی، بطرف مغرب در نظر گرفته می‌شود که در این صورت چنانکه ستاره، در قسمت نیمکرهٔ غربی کرهٔ سماوی باشد، زاویهٔ ساعتی آن از صفر تا ۱۸۰ درجه، و در صورتیکه در نیمکرهٔ شرقی کرهٔ سماوی باشد، زاویهٔ ساعتی آن از ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه است.

در صورتیکه زاویهٔ ساعتی، بطرف مغرب در نظر گرفته شود علامت آن مثبت (+) و به‌طرف مشرق علامت آن منفی (—) است. گاهی هم برحسب مورد، زاویهٔ ساعتی بطرف مشرق و یا مغرب بدون توجه به‌علامت، در نظر گرفته می‌شود. همچنین زاویهٔ ساعتی را می‌توان نسبت به‌امتداد شمالیِ نصف‌النهارِ سماوی نیز سنجید.

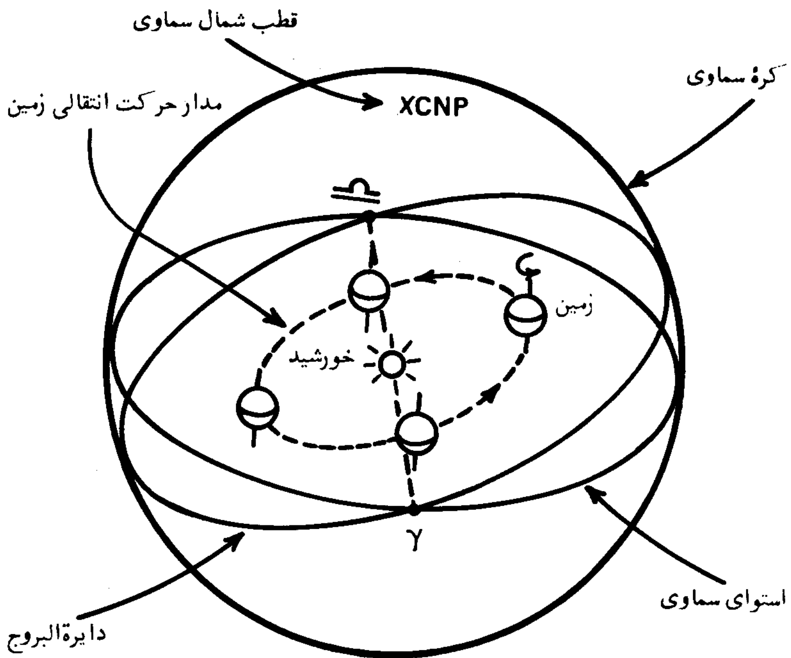
## ۲۵. دایرةالبروج[1]

زمین در مدت یک سال شمسی یک بار به‌دور خورشید در جهت مغرب به‌مشرق می‌چرخد. در نتیجه، چنانکه یک ناظر زمینی بتواند وضعیت خورشید را نسبت به‌ستارگان آسمان، در مدت یکسال در نظر داشته باشد، ظاهراً چنین خواهد پنداشت که این خورشید بوده که در مدت یکسال شمسی یک بار به‌دور زمین گشته است. مسیر حرکت ظاهریِ سالانهٔ خورشید به‌دور زمین را دایرةالبروج می‌نامند.

بعبارت دیگر، دایرةالبروج، دایرهٔ عظیمه‌ای است که بر روی کرهٔ سماوی قرار دارد و حرکت ظاهری سالانهٔ خورشید به‌دور زمین، بر روی آن، صورت می‌گیرد. همچنین چنانکه ناظری فرضی در خورشید، بتواند نظاره‌گر زمین باشد، مسیر حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید را در مسیر همان دایرةالبروج خواهد دید. به‌همین علت، دایرةالبروج بصورت دیگری نیز تعریف می‌شود: بدین ترتیب که محل تلاقی صفحهٔ مسیر حرکت انتقالی زمین با کرهٔ سماوی را نیز دایرةالبروج می‌گویند، شکل (۱۱-۶).

ازآنجایی که محور چرخشی زمین بر سطح مدار حرکت انتقالی آن عمود نیست، لذا تصویر این مسیر بر کرهٔ سماوی، یعنی دایرةالبروج، بر محور سماوی، عمود نمی‌باشد بلکه نسبت به‌آن متمایل است. زاویهٔ بین صفحهٔ دایرةالبروج و دایرهٔ استوا، در حدود

1. Ecliptic




**شکل (۱۱ـ۶) — دایرة‌البروج بر روی کرهٔ سماوی. محل تلاقی صفحهٔ مسیر حرکت انتقالی زمین با کرهٔ سماوی، دایرة‌البروج نامیده می‌شود.**

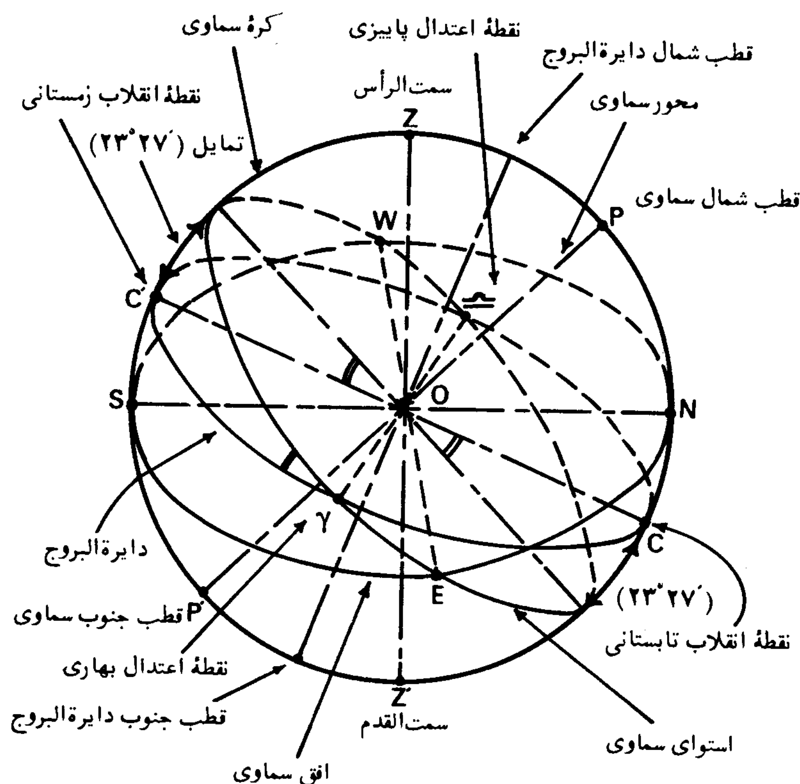
۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه است و به‌نام تمایل[1] نامیده می‌شود، شکل (۱۲ـ۶). اندازهٔ این زاویه در طول یک قرن، باندازهٔ ۴۷ ثانیه کم می‌شود. اندازهٔ متوسط تمایل در سال ۱۹۷۲ برابر ۲۳ درجه و ۲۶ دقیقه و ۳۴/۵۲ ثانیه بوده است.

محوری که از مرکز کرهٔ سماوی گذشته و بر سطح دایرة‌البروج عمود باشد، کرهٔ سماوی را در دو نقطه به‌نامهای قطب شمال دایرة‌البروج[2] و قطب جنوب دایرة‌البروج[3] قطع می‌کند، شکل (۱۲ـ۶).

## ۲۶. نقاط اعتدال[4]

دایرة‌البروج و دایرهٔ استوای سماوی بر روی کرهٔ سماوی، همدیگر را در دو نقطه

1. Obliquity 2. North Pole of the Ecliptic 3. South Pole of the Ecliptic
4. Equinoctial Points




شکل (۱۲-۶) — نقاط اعتدال و انقلاب، قطبها و تمایل دایرةالبروج.

به‌نام نقاط اعتدال قطع می‌کنند. میل خورشید بهنگام عبور از نقاط اعتدال برابر صفر درجه می‌شود.

در شکل (۱۲-۶) نقاط اعتدال نشان داده شده است. یکی از نقاط اعتدال، به‌اعتدال بهاری[1] (نقطهٔ γ) موسوم بوده و میل خورشید بعد از عبور از آن از جنوبی به‌شمالی و یا از علامت منفی به‌مثبت تغییر می‌یابد. فصل بهار در لحظهٔ عبور خورشید از نقطهٔ اعتدال بهاری آغاز می‌گردد.

گرچه می‌توان نقطهٔ اعتدال بهاری بر روی کرهٔ سماوی را نقطهٔ ثابتی فرض کرد، امّا محل آن بر روی دایرةالبروج سالیانه باندازهٔ ۵۰/۲۶ ثانیهٔ قوسی بطرف مغرب تغییر-

1. Vernal Equinox(the First Poit of Aries)

مکان می‌دهد و در نتیجه، این تغییر خود موجب تغییر مختصات ستارگانی که نسبت به‌این نقطه سنجیده می‌شوند، می‌گردد.

نقطهٔ دیگر به‌اعتدال پاییزی[1] (♎) موسوم است و میل خورشید بعد از عبور از آن از شمالی به‌جنوبی و یا علامت آن از مثبت به‌منفی تغییر می‌کند. فصل پاییز در لحظهٔ عبور خورشید از نقطهٔ اعتدال پاییزی شروع می‌شود. فاصلهٔ زمانی بین دو نقطهٔ اعتدال، درحدود شش ماه است.

## ۲۷. نقاط انقلاب[2]

نقاط انقلاب بر روی دایرةالبروج، دو نقطه‌ای است که میل خورشید بهنگام عبور از آنها بیشترین اندازهٔ شمالی و یا جنوبی (مثبت و یا منفی) را داراست. در شکل (۱۲-۶)، خورشید در نقطهٔ c دارای بیشترین میل بطرف شمال (۴۵/ °۲۳+) است که این نقطه، به‌نام انقلاب تابستانی[3] معروف است. عبور خورشید از این نقطه، سرآغاز فصل تابستان در نیمکرهٔ شمالی (فصل زمستان در نیمکرهٔ جنوبی) است. خورشید در نقطهٔ $c'$ دارای بیشترین میل بطرف جنوب (۴۵/ °۲۳−) بوده و این نقطه به‌انقلاب زمستانی[4] موسوم است. عبور خورشید از نقطهٔ $c'$، سرآغاز فصل زمستان در نیمکرهٔ شمالی (فصل تابستان در نیمکرهٔ جنوبی) است. بنابراین در نیمکرهٔ جنوبی، نقطهٔ $c'$ معرف انقلاب تابستانی و نقطهٔ c معرف انقلاب زمستانی و درست عکس حالت نیمکرهٔ شمالی است.

## ۲۸. بُعد[5]

بُعد یک جرم سماوی باندازهٔ زاویه‌ای کمانی از استوای سماوی گفته می‌شود که از نقطهٔ انقلاب بهاری بطرف مشرق تا دایرهٔ ساعتیِ (میل) جرم سماوی، اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۱۳-۶) کمان $\gamma M'$ بُعد ستارهٔ (M) است.

1. Autumnal Equinox (the First Point of Libra) 2. Solstices
3. Summer Solstice 4. Winter Solstice 5. Right Ascension

شکل (۱۳-۶) — بُعد یک جرم سماوی بر روی استوای سماوی.

## ۲۹. دایرهٔ اعتدال[1]

دایرهٔ عظیمه‌ای که از نقاط اعتدال و قطبهای شمال و جنوب سماوی می‌گذرد، دایرهٔ اعتدال نامیده می‌شود.

بعبارت دیگر دایرهٔ اعتدال، دایرهٔ ساعتیِ نقطهٔ اعتدال بهاری است، شکل (۱۴-۶).

## ۳۰. دایرهٔ انقلاب[2]

دایرهٔ انقلاب دایرهٔ عظیمه‌ای است که سطح آن بر سطح دایرهٔ اعتدال عمود

1. Equinoctial Colure 2. Solstitial Colure




**شکل (۱۴ـ۶) — دایره‌های اعتدال و انقلاب بر روی کرهٔ سماوی.**

بوده و از قطبهای سماوی، سمت‌الرأس و سمت‌القدم ناظر می‌گذرد. در شکل (۱۴ـ۶)، SZPNZ′P′ ، دایـرهٔ انقلاب است.

## ۳۱. زمین[1]

شکل سیارهٔ زمین تقریباً بصورت کره در نظر گرفته می‌شود، امّا چنین نتیجه‌گیری شده است که در بیشتر موارد می‌توان با دقت، شکل آن را بصورت شبه کره[2] و یا کرهٔ پهن شده فرض کرد. کرهٔ پهن شده از دوران یک بیضی حول محور اقصر[3] آن بدست می‌آید. پهن شدگی سیارهٔ زمین در قطبهای آن است، طول قطر آن در امتداد محور چرخشی، کوتاهتر از طول قطر آن در ناحیهٔ استوایی است. طول قطر چرخشی زمین

1. The Earth 2. Oblate Spheroid 3. Minor Axis

در حدود ۶۳۵۶/۹۱۲ کیلومتر و قطر استوایی آن در حدود ۶۳۷۸/۳۸۸ کیلومتر است. پهن‌شدگی[1] و یا فشردگی زمین و یا هر جسم پختی[2] با کمیتی به‌نام بیضویت[3] بیان می‌شود. چنانکه (a) نصف قطر اطول[4] زمین فشرده شده و (b) نصف قطر اقصر[5] آن باشد، بیضویت (e) مطابق تعریف با فرمول زیر بیان می‌شود:

$$e=\frac{a-b}{a} \qquad (۶-۴)$$

بنابراین بیضویت نسبت تفاوت قطرهای اطول و اقصر و قطر اطول است که بصورت یک کسر نشان داده می‌شود. اندازهٔ بیضویت زمین، بصورت عملی تعیین شده و تقریباً در حدود $\frac{۱}{۲۹۷}$ است.

شکل زمین در موضوع قبله‌یابی حایز اهمیت می‌باشد و به‌همین دلیل فصل هشتم کتاب به‌بررسی شکل زمین اختصاص یافته است.

## ۳۲. دستگاه مختصات زمینی[6]

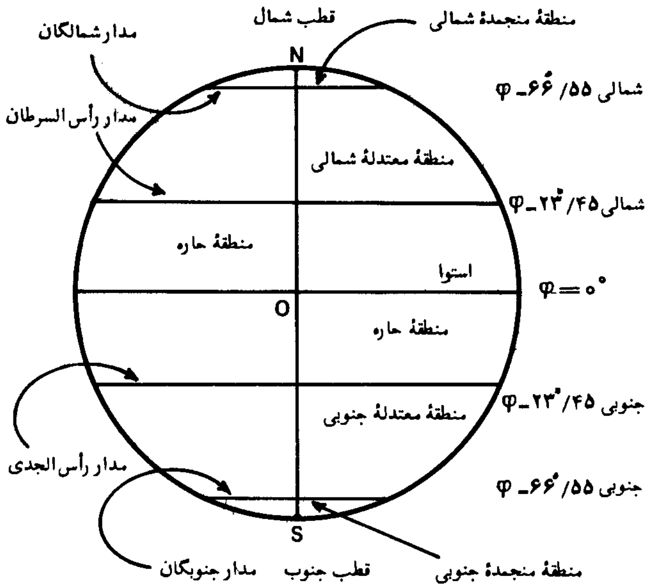
معمولا برای مشخص کردن وضعیت یک نقطه بر روی یک سطح مسطح، از دو مشخصه، یکی به‌نام طول[7] در امتداد محور (x) و دیگری به‌نام عرض[8] در امتداد محور (y)، عمود بر محور x، استفاده می‌شود.

برای مشخص ساختن وضعیت یک نقطه بر روی کرهٔ زمین، از دستگاه طول و عرض[9] استفاده می‌شود. در این دستگاه از دو سطح اصلی، بعنوان مبنا استفاده می‌شود: یکی از سطوح مبنا، سطح دایرهٔ استوا است و دیگری سطح دایرهٔ عظیمه‌ای که از قطبهای جغرافیایی و گرینیچ می‌گذرد (نصف‌النهار گرینیچ). این سیستم مختصات زمینی در فصل اوّل کتاب، بطور کامل تشریح شده است.

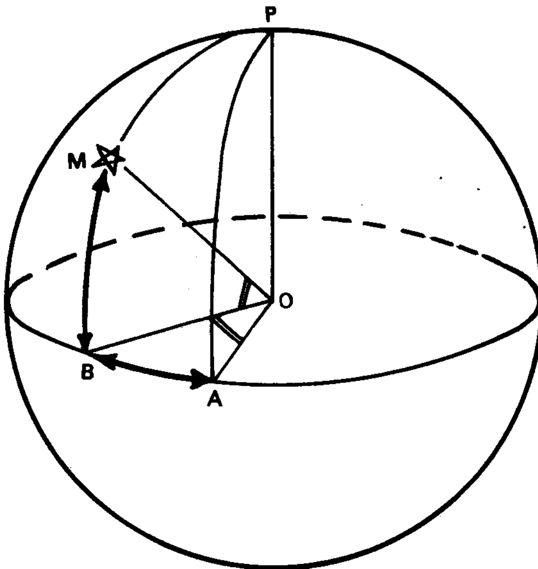
## ۳۳. مناطق زمین[10]

سطح زمین به‌پنج منطقه تقسیم شده است. در این طبقه‌بندی هر منطقه بیان-

1. Flattening 2. Oblate 3. Ellipticity 4. Semi-Major Axis
5. Semi-Minor Axis 6. Terrestial Coordinate System 7. Abscissa
8. Ordinate 9. Latitude—Longitude System 10. Zones of the Earth




شکل (۱۵ـ۶)ــ مناطق پنجگانهٔ زمین.




شکل (۱۶ـ۶)ــ مختصات کروی نقطهٔ M بر روی یک کره. زاویه‌های $\widehat{AOB}$ و $\widehat{BOM}$ و یا کمانهای $\overset{\frown}{AB}$ و $\overset{\frown}{BM}$ مختصات کروی نقطهٔ M هستند.

کنندهٔ شرایط آب و هوای خاص آنست که برحسب مدارات معین، مشخص می‌شوند.

مدار ۴۵/ °۲۳ شمالی، به‌نام مدار رأس‌السرطان[1] و مدار ۴۵/ °۲۳ جنوبی به‌نام مدار رأس‌الجَدْیْ[2] معروفند. کمربندی از سطح زمین که بین مدار رأس‌السرطان و مدار رأس‌الجَدْیْ قرار دارد به‌منطقهٔ حاره[3] موسوم است. این منطقه گرمترین قسمت سطح زمین است.

کمربند واقع بین مدار ۴۵/ °۲۳ شمالی و مدار ۵۵/ °۶۶ شمالی، به‌منطقهٔ معتدلهٔ شمالی[4] موسوم است. همچنین کمربند واقع بین مدار ۴۵/ °۲۳ جنوبی و مدار ۵۵/ °۶۶ جنوبی، منطقهٔ معتدلهٔ جنوبی[5] نامیده می‌شود. آب و هوای مناطق معتدلهٔ شمالی و جنوبی، معتدل است.

مدار ۵۵/ °۶۶ شمالی، مدار شمالگان[6] نامیده می‌شود و نواحی واقع در شمال این مدار به‌منطقهٔ منجمدهٔ شمالی[7] موسوم است. مدار ۵۵/ °۶۶ جنوبی مدار جنوبگان[8] نامیده شده و نواحی واقع در جنوب این مدار به‌منطقهٔ منجمده جنوبی[9] موسوم است. مناطق منجمدهٔ شمالی و جنوبی، سردترین مناطق زمین‌اند. مناطق پنجگانه زمین در شکل (۱۵ـ۶) نشان داده شده است.

## ۳۴. دستگاههای مختصات نجومی[10]

مانند آنچه که درمورد دستگاه مختصات زمینی بیان شد، وضعیت اجرام سماوی بر روی کرهٔ سماوی، بوسیلهٔ دستگاههای مختصات، مشخص می‌شود. بطور کلی وضعیت یک جرم سماوی بر روی کرهٔ سماوی را می‌توان توسط مختصات کروی[11] مشخص کرد. در اینحالت دو فاصلهٔ زاویه‌ای[12] در امتداد دو کمان از دو دایرهٔ عظیمه که عمود بر یکدیگرند، مشخص می‌شوند. یکی از دوایر عظیمه، به‌نام دایرهٔ اولیهٔ مبنا[13] و دیگری به‌نام دایرهٔ ثانویهٔ مبنا[14] موسوم‌اند. برای مثال، در شکل (۱۶ـ۶)، وضعیت نقطهٔ M بعنوان یک جرم سماوی، بر روی کره‌ای به‌مرکز O (مبدء مختصات) را می‌توان نسبت

1. Tropic of Cancer 2. Tropic of Capricorn 3. Torrid Zone
4. The North Temperate Zone 5. The South Temperate Zone
6. Arctic Circle 7. North Frigid Zone 8. Antarctic Circle
9. South Frigid Zone 10. Astronomical Coordinate Systems
11. Spherical Coordinates 12. Angular Distance
13. Primary Circle of the Reference 14. Secondary Circle of the Reference

به‌صفحه OAB و خط OA مشخص کرد. چنانکه صفحه‌ای بر خط OM طوری عبور داده شود که بر صفحهٔ OAB عمود باشد، OB فصل مشترک دو صفحهٔ عمود بر هم خواهد بود. در نتیجه زاویه های $\widehat{AOB}$ و $\widehat{BOM}$ و یا کمانهای $\overset{\frown}{AB}$ و $\overset{\frown}{BM}$ مختصات کروی نقطهٔ M هستند.

مختصات کروی را می‌توان برای مشخص کردن وضعیت اجرام سماوی بر روی کرهٔ سماوی، بکار برد. ناظر در مرکز کرهٔ سماوی قرار می‌گیرد. شعاع کرهٔ سماوی نامشخص است و اجرام سماوی بر سطح داخلی کره تصویر می‌شوند. بدین ترتیب کرهٔ سماوی وجود خارجی نداشته، فقط برای مشخص کردن جهت اجرام سماوی در فضا بکار گرفته می‌شود.

فواصل اغلب اجرام سماوی تا زمین تقریباً مشخص است، ولی فاصلهٔ یک جرم سماوی خاص را نمی‌توان بفوریت معلوم ساخت و لذا نمی‌توان از میزان فاصلهٔ یک جرم سماوی برای مشخص کردن آن استفاده کرد. بنابراین بهنگام رصد یک جرم سماوی، می‌توان فاصلهٔ آن را تا ناظر، بصورت نامشخص در نظر گرفت و بعبارت دیگر می‌توان آن را بر کرهٔ سماوی تصویر کرد.

دستگاه مختصات کروی بر روی کرهٔ سماوی، همانند دستگاه مختصات زمینی یعنی طول و عرض جغرافیایی است؛ با این تفاوت که درمورد مختصات زمینی، زمین از طرف خارج آن در نظر گرفته شده است در حالیکه در مختصات کروی، کرهٔ سماوی از طرف داخل آن در نظر گرفته می‌شود. در هریک از دستگاههای مختصات که بر مبنای مختصات کروی استوا راست، دوقطب در دوسر یک‌قطر از کرهٔ‌سماوی در نظرگرفته می‌شود. یکی از قطبها، قطب شمال سماوی است که درست بالای قطب شمال جغرافیایی زمین قرار دارد و دیگری قطب جنوب سماوی است و دایرهٔ اولیهٔ مبنا با فاصلهٔ ۹۰ درجه از هرکدام از قطبها در نظر گرفته می‌شود. در چنین حالتی، مختص عرضی[1] یک جرم سماوی، برابر فاصلهٔ زاویه‌ای آن از دایرهٔ اولیه بطرف شمال و یا جنوب آن است. دوایر صغیره‌ای که به‌موازات دایرهٔ اولیه در نظر گرفته می‌شوند، به‌مدارات[2] موسوم‌اند. مختص طولی[3] یک جرم سماوی توسط اندازهٔ زاویه‌ای کمانی از دایرهٔ اولیه بین دایرهٔ ثانویه و دایرهٔ عظیمه‌ای که از جرم سماوی و قطبهای سماوی می‌گذرد، محصور است، مشخص می‌گردد.

1. Latitudinal Coordinate 2. Parallels 3. Longitudinal Coordinate

بطورکلی وضعیت اجرام سماوی را می‌توان توسط دستگاههای مختصات نجومی زیر مشخص ساخت:

۱. دستگاه افقی[1]

۲. دستگاه استوایی (معدلی) مستقل[2]

۳. دستگاه استوایی (معدلی) وابسته[3]

۴. دستگاه عرض و طول سماوی[4]

۵. دستگاه کهکشانی[5]

ازمیان این دستگاههای مختصات، دستگاه افقی، تابع وضعیت مکانی ناظر بر روی کرهٔ زمین است. درحالیکه دستگاه استوایی مستقل، تابع وضعیت مکانی ناظر نیست و دستگاه را می‌توان برای هر ناظری بر روی کرهٔ زمین بکار برد. در دستگاه استوایی وابسته، یکی از دایره‌های عظیمهٔ مبنا مستقل از وضعیت مکانی ناظر بوده و دایرهٔ عظیمهٔ دیگرکه عمود بر دایرهٔ عظیمهٔ قبلی است، تابع وضعیت مکانی ناظر است.

## ۱ — ۳۴. دستگاه افقی

دستگاه افقی نسبت به‌ناظر مشخص می‌شود. در این دستگاه، قطبها عبارتند از سمت‌الرأس و سمت‌القدم ناظر. مختص عرض در این دستگاه، در صورتیکه نسبت به‌سطح افق و بطرف بالا اندازه‌گیری شود، ارتفاع، و در صورتی‌که از سمت‌الرأس بطرف پایین اندازه‌گیری شود، فاصلهٔ سمت‌الرأس نامیده می‌شود. در این‌دستگاه مختصات، دوایر صغیرهٔ واقع بر روی کره سماوی، که سطح آنها با سطح افق ناظر موازی است، مداراتِ هم‌ارتفاع[6]، نامیده می‌شوند؛ چه، اجرام سماوی واقع بر چنین مدارهایی، دارای ارتفاع برابرند.

مختص طول، در دستگاه افقی، سمت نام دارد. سمت یک جرم سماوی نسبت به‌مبناهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود، امّا معمولاً نسبت به‌امتداد شمال جغرافیایی واقع بر افق ناظر، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

1. Horizon System 2. The Independent Equatorial System

3. The Dependent Equatorial System

4. The Celestial Latitude and Longitude System 5. The Galactic System

6. Almucantars (Parallels of Equal Altitudes)

بنابراین در دستگاه افقی، دایرهٔ اولیهٔ مبنا، دایرهٔ افق و دایرهٔ ثانویهٔ مبنا، دایرهٔ نصف‌النهار ناظر است. در این دستگاه دایرهٔ ثانویه دیگری نیز به‌نام سطح نصف‌النهار اصلی[1] در نظر گرفته می‌شود، که قبلا تعریف آن در بخش (۱۲-۶) آمده است.

معمولا با وسایل نجومی، می‌توان زوایای افقی و قائم را بسادگی اندازه‌گیری کرد و علت انتخاب دستگاه مختصات افقی نیز همین است. امّا مختصات اندازه‌گیری شده در این دستگاه، بسرعت و بطور دائمی، بعلت حرکت وضعی زمین، در حال تغییر خواهد بود، و بعلاوه مختصات بدست آمده برای دو ناظر در دو محل مختلف برروی کرهٔ زمین، متفاوت است.

در شکل (۱۷-۶)، ستارهٔ M در نیمکرهٔ شرقی کرهٔ سماوی قرار گرفته، سمت‌الرأس ناظر در نقطهٔ Z، O محل ناظر و نقطهٔ P قطب شمال سماوی است. دایرهٔ عمودی که از ستارهٔ M می‌گذرد، دایرهٔ افق ناظر را در نقطهٔ $M'$ قطع کرده است. زاویهٔ $\widehat{M'OM}$

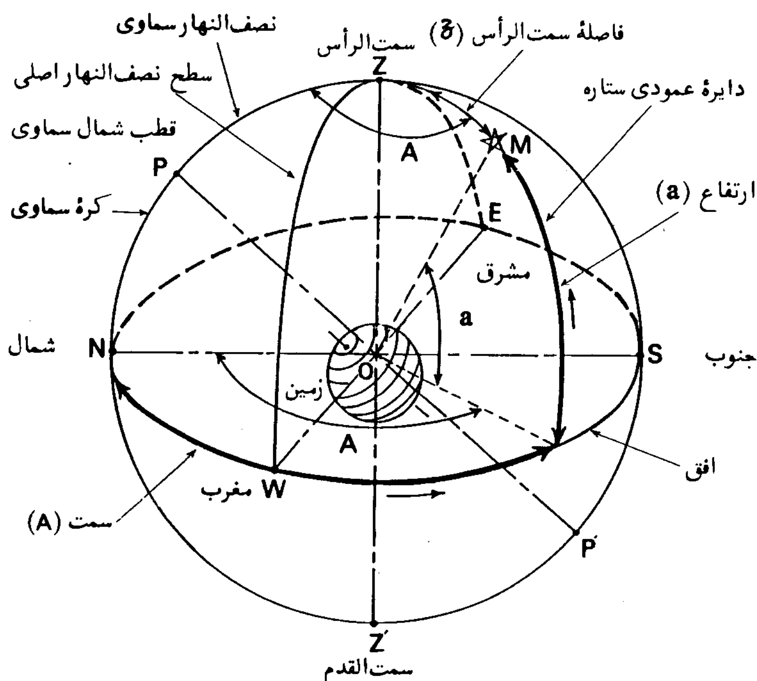
**شکل (۱۷-۶)— دستگاه مختصات نجومی افقی. ارتفاع و سمت ستارهٔ M در نیمکرهٔ شرقی کرهٔ سماوی نشان داده شده است.**

1. Prime Vertical

ارتفاع (a) ستارهٔ M است که در امتداد دایرهٔ عمودی‌ستاره، نسبت به‌وضعیت ستاره در بالا و یا پایین سطح دایرهٔ افق اندازه‌گیری می‌شود. اندازهٔ ارتفاع از صفر درجه، وقتیکه ستاره، در سطح افق سماوی است تا ۹۰ درجه وقتیکه در سمت‌الرأس ناظر است، تغییر می‌کند. مختص دیگر، زاویهٔ کروی $\widehat{MZN}$ ، سمت (A) ستارهٔ M است که زاویهٔ بین سطح نصف‌النهار ناظر و دایرهٔ عمودی ستاره است. همچنین زاویهٔ $\widehat{NOM'}$ ، زاویهٔ بین خط نصف‌النهار ناظر و پای دایرهٔ عمودی ستاره برسطح افق، نیز سمت (A) ستاره است.

به همین ترتیب، در شکل (۱۸ـ۶)، ارتفاع و سمتِ ستارهٔM، در نیمکرهٔ غربی کرهٔ سماوی نشان داده شده است. همیشه در نیمکرهٔ شمالی زمین، سمت اجرام سماوی از امتداد جهت شمال بطرف مشرق و یا مغرب، بسته به‌اینکه جرم سماوی در نیمکرهٔ شرقی و یا غربی کرهٔ سماوی قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری می‌شود، در نیمکرهٔ جنوبی زمین، سمت اجرام سماوی از امتداد جهت جنوب به‌طرف مشرق و یا مغرب در نظر گرفته می‌شود.

در شکلهای (۱۷ـ۶) و (۱۸ـ۶)، فاصلهٔ سمت‌الرأس ستارهٔ M نیز نمایانده شده




شکل (۱۸ـ۶) — مختصات نجومی ستارهٔ M واقع در نیمکرهٔ غربی کرهٔ سماوی.

است، که در مواردی، بجای ارتفاع بکار می‌رود $z = 90° - a$)

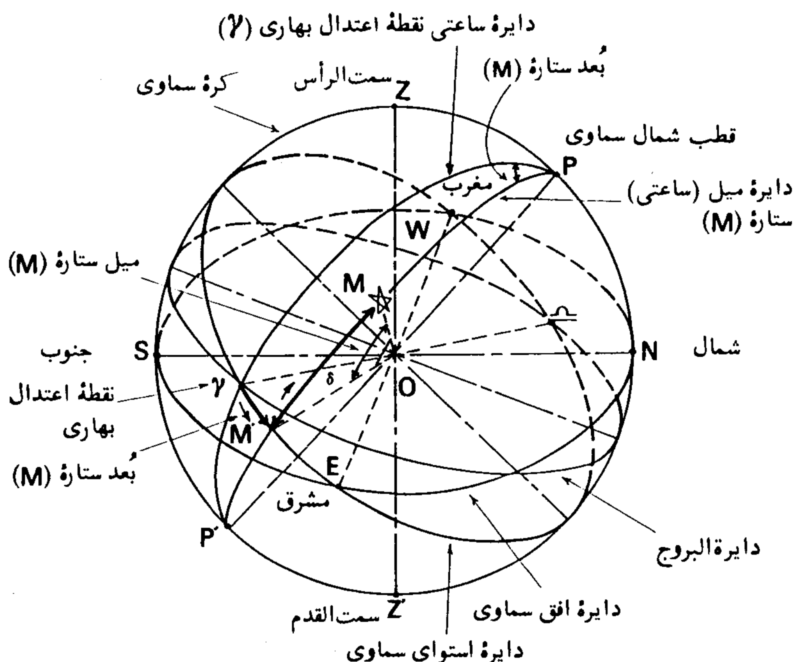
### ۲-۳۴. دستگاه استوایی مستقل

دستگاه استوایی مستقل، به‌نام دستگاه میل و بُعد[1] نیز نامیده می‌شود. این دستگاه مختصات، در کاتالوگ ستارگان و جداول و تقویمهای نجومی بکار می‌رود، چه، مختصات کروی که در این دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مستقل از وضعیت مکانی ناظر است. این دستگاه، درحقیقت امتداد هندسی دستگاه طول‌وعرض جغرافیایی است. قطبهای این دستگاه محل برخورد محور چرخشی زمین با کره سماوی یعنی قطبهای سماوی است. دایرهٔ اولیهٔ مبنا، دایرهٔ استوای سماوی است و دایرهٔ ثانویهٔ مبنا، دایرهٔ میل و یا دایرهٔ ساعتی است که قبلا تعریف آن در مطلب شمارهٔ (۲۰) در این فصل داده شده است. مختص عرض، در دستگاه استوایی مستقل، میل و مدارات مربوط، به‌نام مدارات میل[2] معروفند. مختص طول در این دستگاه مختصات، بُعد است که مبدأ آن نقطهٔ اعتدال بهاری است. بُعد یک جرم سماوی از نقطهٔ اعتدال بهاری، بطرف مشرق، از صفر تا ۳۶۰ درجه اندازه‌گیری می‌شود. بُعد یک ستاره، گاهی برحسب ساعت، دقیقه و ثانیهٔ زمانی نیز مشخص می‌شود، بنحوی که ۳۶۰ درجه برابر ۲۴ ساعت است.

درشکل (۱۹-۶)، بُعد و میل ستارهٔ (M) در دستگاه مختصاتِ نجومیِ استواییِ مستقل، نشان داده شده است. کمان $\widehat{\gamma M'}$ در امتداد دایرهٔ استوای سماوی از نقطهٔ اعتدال بهاری ($\gamma$) بطرف مشرق تا دایرهٔ ساعتی ستارهٔ M، بُعد ستاره است. همچنین زاویهٔ بین دایرهٔ ساعتی، نقطهٔ اعتدال بهاری ($\gamma$) و دایرهٔ ساعتی ستارهٔ M در نقطهٔ قطب شمال سماوی (P) و در جهت مشرق، بُعد ستاره است. در این شکل کمان $\widehat{\gamma P}$ قسمتی از دایرهٔ ساعتی نقطهٔ اعتدال بهاری و کمان $\widehat{PMM'}$ قسمتی از دایرهٔ ساعتی (میل) ستارهٔ M است و لذا کمان $\widehat{\gamma M'}$ درامتداد استوای سماوی، بُعد آنست. همچنین زاویهٔ کروی $\widehat{\gamma PM'}$ نیز بُعد ستاره است.

میلِ ($\delta$) ستارهٔ M در شکل (۱۹-۶) عبارت از زاویهٔ $\widehat{MOM'}$ و یا کمان $\widehat{MM'}$ است که در امتداد دایرهٔ ساعتی بین ستاره و دایرهٔ استوای سماوی در نظر گرفته می‌شود.

1. Declination and Right Ascension System
2. Parallels of Declination




**شکل (۱۹-۶) — دستگاه مختصاتِ نجومیِ استوائیِ مستقل و یا دستگاهِ مختصاتِ بُعد و میل.**

درحقیقت دایرهٔ ساعتی، همواره به همراه خود ستاره، دارای حرکت ظاهری شبانه‌روزی است. اندازهٔ میل ستارگان از صفر تا ۹۰+ درجه، وقتی که ستاره در شمال صفحهٔ استوای سماوی است. و از صفر تا ۹۰− درجه وقتیکه ستاره در جنوب آنست، تغییر می‌کند.

زاویهٔ متمم میل، فاصلهٔ قطبی (p) نامیده می‌شود، $p = (90^\circ - \delta)$. در شکل (۱۹-۶) کمان $\widehat{PM}$ فاصلهٔ قطبی ستارهٔ M است.

مختصات نجومی بر روی کرهٔ سماوی، در دستگاه استوایی مستقل، کاملا ثابت نیست، چه، محل قطبهای سماوی دقیقاً ثابت نمی‌باشد و به‌آرامی تغییر محل می‌دهد و درنتیجه، وضعیت دایرهٔ استوای سماوی نیز تغییر می‌کند. بنابراین این دستگاه مختصات بطور مطلق مستقل از زمان نیست، امّا مستقل از محل رصد است و وضعیتهای مربوط، برای هرناظری در هرجای سطح کرهٔ زمین قابل استفاده است.

تغییرات میل و بُعد خورشید خیلی بیشتر از تغییرات میل و بُعد سایر ستارگان است.

## ۳۴-۳. دستگاه استوایی وابسته

دستگاه استوایی وابسته، به‌نام دستگاه میل و زاویهٔ ساعتی[1] نیز نامیده می‌شود.

در مواردی مناسبتر است که مختص طول در دستگاه استوایی مستقل، نسبت به‌خود ناظر سنجیده شود. برای این کار محل برخورد استوای سماوی با نصف‌النهار سماوی، بعنوان مبدأ طول در نظر گرفته می‌شود. در اینصورت چنین دستگاهِ مختصات را، دستگاهِ استواییِ وابسته می‌نامند که در آن یک‌مختص، وابسته به‌وضعیت ناظر بوده، دیگری مستقل از آن است. دو دایرهٔ عظیمهٔ مبنا در این دستگاهِ مختصات، دایرهٔ استوای سماوی و دایرهٔ ساعتیِ (میلِ) جِرم سماوی است که استوای سماوی دایرهٔ اولیهٔ مبنا و دایرهٔ ساعتی، دایرهٔ ثانویهٔ مبنایند، در نیمکرهٔ شمالی، همیشه زاویهٔ ساعتی از طرف جنوب، بسوی مغرب تا دایرهٔ میل، اندازه‌گیری می‌شود و اندازهٔ آن از صفر درجه تا ۳۶۰ درجه می‌تواند باشد. چنانکه اندازهٔ زاویهٔ ساعتی از صفر تا ۱۸۰ درجه باشد، جرم سماوی در نیمکرهٔ غربی کرهٔ سماوی، و در غیراینصورت در نیمکرهٔ شرقی آن قرار خواهد داشت.

دستگاه مختصات نجومی استوایی وابسته در شکلهای (۲۰-۶) و (۲۱-۶) برای ستاره‌ای مانندM، نمایانده شده است. مختص زاویهٔ ساعتی (h)، اندازهٔ زاویه‌ای کمان واقع بر دایرهٔ استوای سماوی است که بین نصف‌النهار سماوی ناظر و دایرهٔ ساعتیِ (میل) جرم سماوی، محصور است. همچنین زاویهٔ کروی که در قطب شمال سماوی بین دایرهٔ ساعتی جرم سماوی و دایرهٔ نصف‌النهار سماوی ناظر، ایجاد می‌شود، همان زاویهٔ ساعتی است. در شکل (۲۱-۶)، ستارهٔ M در نیمکرهٔ غربی کرهٔ سماوی، قرارگرفته و لذا اندازهٔ زاویهٔ ساعتی بین صفر تا ۱۸۰ درجه است و در شکل (۲۰-۶) ستاره، در نیمکرهٔ شرقی کرهٔ سماوی بوده، اندازهٔ زاویه ساعتی آن، بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه است.

درقسمت‌های (الف) و (ب) در شکل (۲۲-۶)، تصویر نصف‌النهار سماوی و دایرهٔ ساعتی بر سطح استوای سماوی و نحوهٔ اندازه‌گیری زاویهٔ ساعتی از جهت جنوب بطرف مغرب، نشان داده شده است.

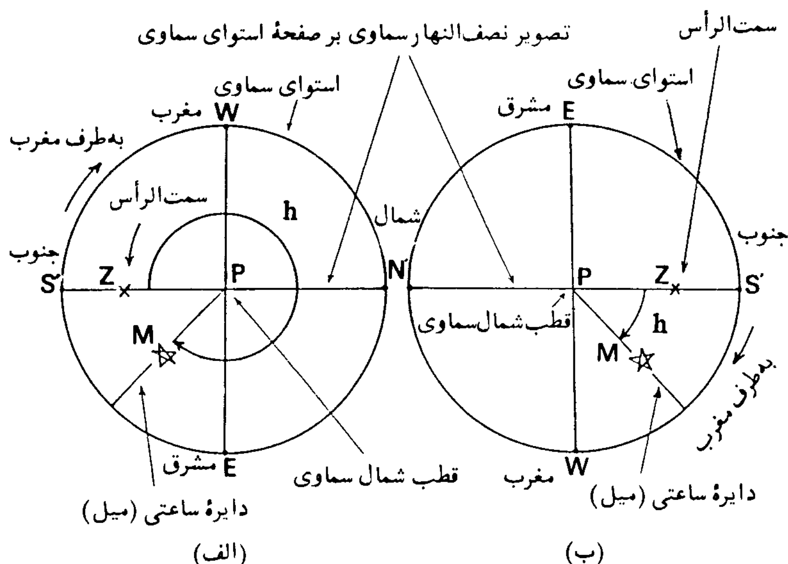
مختص دیگر، میل ($\delta$) مانند دستگاه استوایی مستقل است. بنابراین در شکلهای (۲۰-۶) و (۲۱-۶)، کمان $\widehat{SM}$ ، در جهتی که نشان داده شده است،

1. Declination and Hour Angle System

**شکل (۲۰ـ۶)**—میل و زاویهٔ ساعتیِ ستارهٔ (M) در نیمکرهٔ شرقیِ کرهٔ سماوی، به‌قسمت (الف) شکل (۲۲ـ۶) مراجعه شود.



**شکل (۲۱ـ۶)**—دستگاه مختصات نجومی استوایی وابسته و یا دستگاه میل و زاویهٔ ساعتی.
ستارهٔ (M) در نیمکرهٔ غربی کرهٔ سماوی قرار گرفته است، به‌قسمت (ب)، شکل (۲۲ـ۶) مراجعه شود.




**شکل (۲۲-۶) — چگونگی اندازه‌گیری زاویهٔ ساعتی از جهت جنوب به‌سوی مغرب. در این شکل دایرهٔ ساعتی و نصف‌النهار سماوی بر صفحهٔ استوای سماوی تصویر شده است.**

زاویهٔ ساعتی و کمان $\widehat{MM'}$، میل ستارهٔ M است که نقطهٔ $M'$ تصویر نقطهٔ M بر روی دایرهٔ استوای سماوی در امتداد دایرهٔ ساعتی ستاره است و نقطهٔ $S'$ تصویر نقطهٔ S (جنوب واقعی بر صحنهٔ افق) بر روی دایرهٔ استوای سماوی در امتداد نصف‌النهار سماوی است.

## ۴ــ ۳۴. دستگاه عرض و طول سماوی

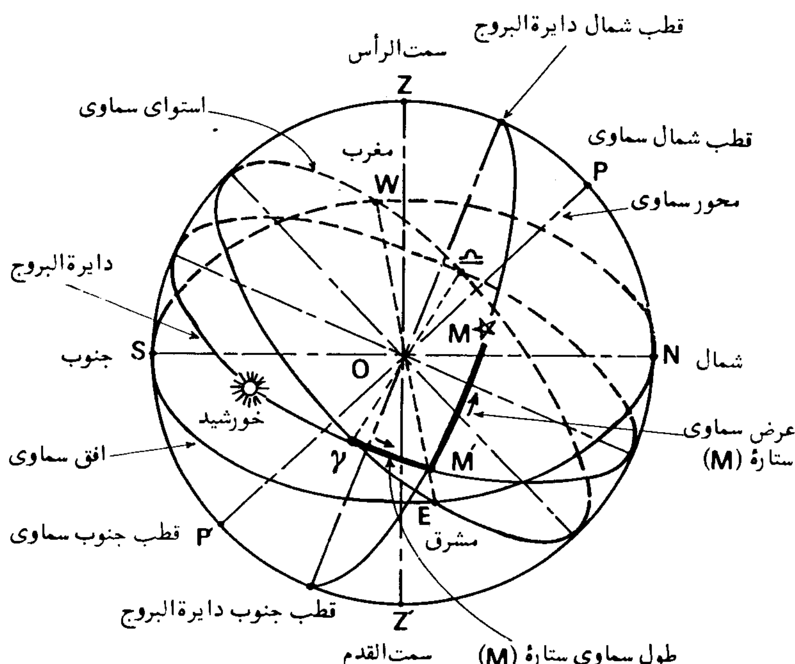
دستگاه عرض و طول سماوی، به‌نام دستگاه دایرةالبروج نیز موسوم است. مطالعات نظری حرکت سیاره‌ای در دستگاه مختصات نجومی عرض و طول، صورت می‌گیرد. در این دستگاه مختصات، صفحهٔ اولیهٔ مبنا، سطح دایرةالبروج است و مختص عرض در آن، عرض سماوی[1]، نامیده می‌شود. صفحهٔ ثانویهٔ مبنا، دایرهٔ عظیمه‌ای است که از نقطهٔ اعتدال بهاری (♈) گذشته و بر صفحهٔ دایرةالبروج عمود است و مختص

1. Celestial Latitude

طول در این دستگاه، طول سماوی[1]، نام دارد. بدین ترتیب مبدأ طول سماوی، نقطهٔ اعتدال بهاری (♈) است. دو قطب این دستگاه مختصات، به‌نام قطبهای دایرةالبروج[2] موسوم‌اند.

عرض سماوی یک جرم سماوی عبارت از کمان محصور بین دایرةالبروج و آن جرم سماوی است که در امتداد دایرهٔ عظیمه‌ای که از جرم سماوی گذشته و سطح آن بر سطح دایرةالبروج عمود باشد، در نظر گرفته می‌شود.

طول سماوی یک جرم سماوی، کمانی از دایرةالبروج است که بین دایرهٔ ثانویهٔ مبنا و دایرهٔ عظیمه‌ای که از جرم سماوی گذشته و سطح آن بر سطح دایرةالبروج عمود باشد، محصور می‌گردد. اندازهٔ طول سماوی از صفر درجه در نقطهٔ اعتدال بهاری تا ۳۶۰ درجه بطرف مشرق می‌تواند متغیر باشد. در شکل (۲۳-۶) کمان $\widehat{MM'}$، عرض سماوی بطرف شمال و $\widehat{\gamma M'}$ طول سماوی ستارهٔ M است.




**شکل (۲۳-۶) — دستگاه مختصات نجومی طول و عرض سماوی و یا دستگاه دایرةالبروج.**

1. Celestial Longitude
2. Poles of Ecliptic

## ۵ـ۳۴. دستگاه کهکشانی [1]

دستگاه مختصات نجومی کهکشانی، برای مطالعهٔ حرکات ستاره‌ای [2] در منظومهٔ کهکشانی [3]، بکار گرفته می‌شود. مختصات کهکشانی، با اسامی طول کهکشانی [4] و عرض کهکشانی [5] شناخته می‌شود که نسبت به‌سطوح مبنای مربوط به‌دستگاه کهکشانی، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

## ۶ـ۳۴. تبدیل مختصات نجومی از یک دستگاه مختصات، به‌دستگاه دیگر

مختصات نجومی یک جرم سماوی در یک دستگاه مختصات نجومی را می‌توان به‌مختصات، در دستگاه دیگر تبدیل ساخت. بعنوان مثال می‌توان بُعد و میل یک ستاره را از روی طول و عرض سماوی آن محاسبه کرد. تبدیل مختصات نجومی براساس اصول مثلثات کروی صورت می‌گیرد. تبدیل متداولی که در هر رصدی می‌بایست صورت گیرد، تبدیل از دستگاه افقی به‌دستگاه استوایی است.

چنانکه قبلا هم ذکر شد، سمت و ارتفاع یک ستاره، ثابت نیست و بعلت حرکت وضعی زمین و یا حرکت روزانه [6]، در حال تغییر است. درصورتی که بُعد و میل یک ستاره ثابت است، چه، نقطهٔ مبنا [7] یعنی نقطهٔ اعتدال بهاری خود بهمراه اجرام سماوی، دارای حرکت روزانه است، بعبارت دیگر این نقطه، به‌همراه هر جرم سماوی، ظاهراً درطی یک دور حرکت وضعی زمین در ۲۴ ساعت، یک‌بار به‌دور زمین می‌گردد. اما وسیله‌ای که بتوان با آن بُعد و میل یک جرم سماوی را اندازه‌گیری کرد، وجود ندارد. درصورتیکه سمت و ارتفاع یک ستاره را می‌توان مستقیماً توسط تئودولیت [8] اندازه گرفت. با دانستن سمت و زاویهٔ ساعتی یک ستاره، بُعد و میل آن با حل مثلث نجومی [9] محاسبه می‌شود، البته می‌بایست زمانی که ستاره در یک وضعیت خاص قرار می‌گیرد، زاویهٔ ساعتی آن نیز تعیین گردد.

بنابراین به‌مختصات نجومی، هم در دستگاه افقی و هم در دستگاه استوایی، نیاز است. دستگاه افقی در عمل برای رصد مستقیم ستارگان و دستگاه بُعد و میل برای محاسبات مورد لزوم در تهیه کاتالوگ ستارگان [10] بکار گرفته می‌شوند.

1. The Galactic System 2. Stellar Motions 3. Galactic System
4. Galactic Longitude 5. Galactic Latitude 6. Diurnal Motion
7. Reference Point 8. Theodolite 9. Astronomical Triangle
10. Stars Catalogues

## ۳۵. مثلث نجومی

چنانکه نقاط سمت‌الرأس، قطب سماوی و یک جرم سماوی توسط کمانهای دایره‌های عظیمه بر روی کرهٔ سماوی به همدیگر متصل شوند، مثلث کروی حاصل، مثلث نجومی[1] نامیده می‌شود. بنابراین سه رأس مثلث نجومی عبارت است از سمت‌الرأس ناظر، جرم سماوی و قطب سماوی.

از مثلث نجومی، می‌توان روابط موجود بین مختصات کروی را بدست آورد. چنانکه

$a =$ (M) ارتفاع ستارهٔ

$\delta =$ (M) میل ستارهٔ

$\varphi =$ عرض جغرافیایی

$h =$ (M) زاویهٔ ساعتی ستارهٔ

باشند، باتوجه به‌شکل (۲۴-۶)، اضلاع و زوایای مثلث نجومی به‌شرح زیر است:

$\widehat{ZP} =$ متمم عرض جغرافیایی ناظر $= (90^\circ - \varphi)$

$\widehat{PM} =$ (M) فاصلهٔ قطبی و یا متمم میل ستارهٔ $= (90^\circ - \delta)$

$\widehat{ZM} =$ (M) فاصلهٔ سمت‌الرأس و یا متمم ارتفاع ستارهٔ $= (90^\circ - a)$

زاویه در سمت‌الرأس Z ،

$\hat{Z} = \widehat{MZP} =$ (M) سمتِ ستارهٔ $= A$

زاویه در قطب سماوی P ،

$\hat{P} = \widehat{ZPM} =$ (M) زاویهٔ ساعتی ستارهٔ $= h$

زاویه در محل جرم سماوی M ،

$\hat{M} = \widehat{ZMP} =$ زاویهٔ اختلاف‌منظر[2] ستارهٔ M از نقاط سمت‌الرأس و قطب سماوی

چنانچه سه ضلع مثلث نجومی یعنی کمانهای $\widehat{PM}$ ، $\widehat{ZP}$ ، و $\widehat{ZM}$ و یا به‌عبارت دیگر اندازه‌های ارتفاع و میل ستاره و عرض جغرافیایی ناظر، معلوم باشند، سمت (A) و زاویهٔ ساعتی (h) ستاره با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی محاسبه می‌شود:

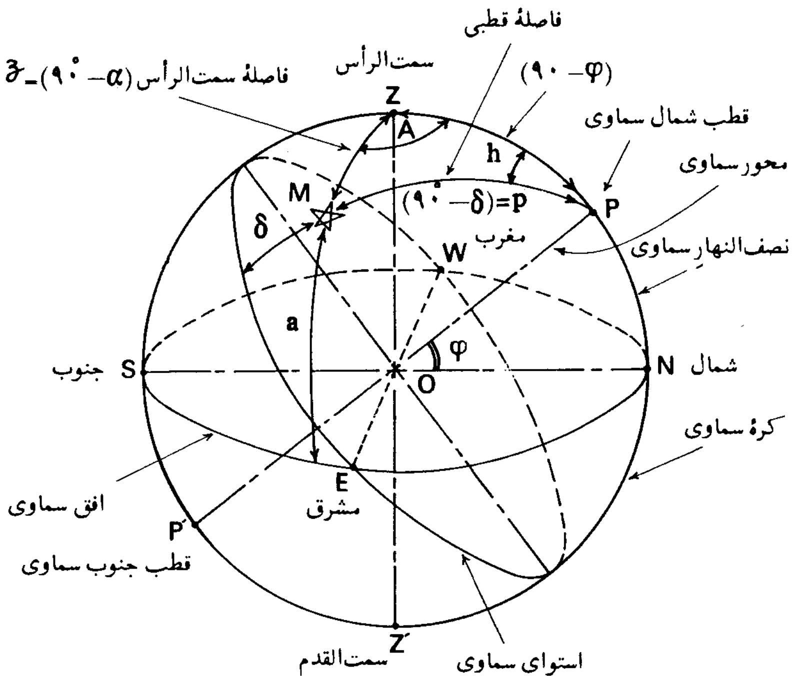
با استفاده از فرمول شمارهٔ (۲-۴) در فصل چهارم، خواهیم داشت:

$$\cos A = \frac{\sin\delta}{\cos a \cos\varphi} - \tan a \tan\varphi \qquad (۶-۴)$$

1. Astronomical Triangle 2. Parallactic Angle

به همین ترتیب

$$\cos h = \frac{\sin a}{\cos\delta \cos\varphi} - \tan\delta \tan\varphi \qquad (۶\text{-}۵)$$




شکل (۲۴-۶)—مثلث کروی.

فرمولهای شمارهٔ(۱-۲) و (۲-۲) در فصل دوم و فرمول شمارهٔ (۱۷-۳) در فصل سوم را می‌توان ازفرمولهای (۴-۶) و (۵-۶) مذکور درفوق بدست آورد.

## ۳۶. ستارگان دورقطبی[1]

ستارگانی که غروب ندارند و در نتیجه، همیشه در بالای افق واقعند، بـه

1. Circumpolar Star

ستارگان دور قطبی موسوم‌اند. چنین ستارگانی بنظر ناظر، ظاهراً در مسیری دایره‌ای به‌دور قطب می‌گردند. در نجوم عملی[1]، اصطلاح ستارگان دور قطبی به‌ستارگانی اطلاق می‌شود که فاصلهٔ قطبی آنها کمتر از ۱۰ درجه باشد.

بنابراین در شکل (۲۵-۶)، ستارهٔ ($M^1$) یک ستارهٔ دور قطبی است که مسیر آن، دایرهٔ $A^1A^2$، همیشه در بالای سطح دایرهٔ افق سماوی، قرار دارد. برای اینکه ستارهٔ دور قطبی، غروب نکند، می‌بایست فاصلهٔ آن تا قطب، یعنی ($\widehat{PA^1}$) کمتر از فاصلهٔ آن تا سطح افق یعنی ($\widehat{PN}$) باشد. به‌عبارت دیگر:

$$\widehat{PA_1} < \widehat{PN}$$

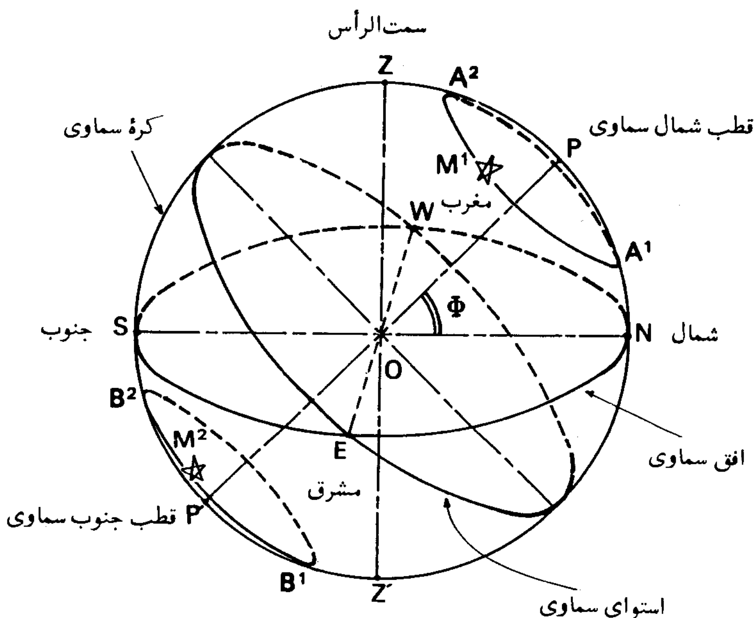
و یا

$$(90^\circ - \delta) < \widehat{PN}$$

اما

$$\widehat{PN} = \varphi$$

درنتیجه




شکل (۲۵-۶) — ستارهٔ دور قطبی.

1. Practical (Field) Astronomy

و یا

$$(۹۰^\circ - \delta) < \varphi$$

$$\delta > (۹۰^\circ - \varphi) \qquad (۶\text{-}۶)$$

بنابراین میل یک ستارهٔ دورقطبی، همیشه ازمتمم عرض جغرافیایی محل رصد، بیشتر است.

به‌همین ترتیب، درشکل (۲۵-۶)، ستارهٔ $M^2$ درمسیر $B^1B^2$ همیشه زیر افق است و لذا هیچوقت برای ناظر O، طلوع ندارد.

## ۳۷. ستارهٔ درحال عبور[1]

زمانی که یک ستاره، نصف‌النهار ناظر را قطع می‌کند، اصطلاحاً گفته می‌شود که آن ستاره عبور[2] و یا گذر کرده است. یک ستاره درحرکت ظاهری خود به‌دور قطب، دوبار دایرهٔ نصف‌النهار ناظر را قطع می‌کند که یکی از این دو گذر به‌نام گذر زبرین[3] و دیگری به‌نام گذر زیرین[4] است.

یک ستاره، زمانی درگذر زبرین است که ارتفاع آن حداکثر باشد و وقتی در گذر زیرین است که ارتفاع آن، حداقل است. باتوجه به‌این تعریف، درشکل (۲۶-۶)، ستارهٔ $M^1$ در وضعیت $A^1$ درگذر زبرین و در وضعیت $B^1$ درگذر زیرین می‌باشد. همچنین ستارهٔ $M^2$ درنقاط $A^2$ و $B^2$ از نصف‌النهار ناظر O گذر می‌کند، که $A^2$ گذر زبرین و $B^2$ گذر زیرین است.

چنانکه از این شکل پیداست، گذر زبرین ستارهٔ $M^1$ در نقطهٔ $A^1$، درطرف شمالی سمت‌الرأس و یا بین قطب و سمت‌الرأس واقع می‌شود، درصورتیکه گذر زبرین ستارهٔ $M^2$ در نقطهٔ $A^2$، درطرف جنوبی سمت‌الرأس، اتفاق می‌افتد.

در نقطهٔ گذر زبرین ستارهٔ $M^1$ در نقطهٔ $A^1$، فاصلهٔ سمت‌الرأس آن به‌صورت زیر است:

$$z_{M_1} = \widehat{ZA_1} = \widehat{ZP} - \widehat{A_1P}$$
$$= (۹۰^\circ - \varphi) - (۹۰^\circ - \delta)$$

1. Star of Culmination
2. To Culminate (Transit)
3. Upper Culmination
4. Lower Culmination

درنتیجه،

$$Z_{M1} = (\delta - \varphi) \quad (۶-۷)$$

سمت‌الرأس
گذر زبرین
گذر زبرین
قطب شمال سماوی
نصف‌النهار سماوی
کرهٔ سماوی
گذر زیرین
گذر زیرین
Z A¹ A² P M¹ B¹ M² B²
مغرب
W
O φ
جنوب S
N شمال
E
مشرق
افق سماوی
استوای سماوی
P′
Z′ سمت‌القدم

**شکل (۲۶-۶)—عبور یک ستاره.**

همچنین در نقطهٔ گذر زبرین ستارهٔ $M^2$ در نقطهٔ $A^2$، فاصلهٔ سمت‌الرأس آن، بصورت زیر است:

$$Z_{M2} = \widehat{ZA_2} = \widehat{PA_2} - \widehat{PZ}$$

$$Z_{M2} = (90^\circ - \delta) - (90^\circ - \varphi)$$

$$Z_{M2} = (\varphi - \delta) \quad (۶-۸)$$

از فرمولهای (۷-۶) و (۸-۶) چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گذر زبرین یک ستاره، وقتی در شمال سمت‌الرأس اتفاق می‌افتد که میل ستاره از عرض جغرافیایی محل رصد بیشتر و زمانی در جنوب سمت‌الرأس واقع می‌شود که میل آن کمتر از عرض باشد.

## ۳۸. وضعیت دورترین فاصلهٔ یک ستاره[1]

گاهی وضعیت یک جرم سماوی نسبت به‌نصف‌النهار سماوی مکان، سنجیده می‌شود. وقتی یک ستاره دارای بیشترین فاصله از نصف‌النهار است، گفته می‌شود که در وضعیت دورترین فاصله قرار گرفته است که این دورترین فاصله، می‌تواند شرقی و یا غربی باشد. در وضعیت دورترین فاصله، ستاره، بیشترین سمت را دارا است و همچنین دایرهٔ مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ ستاره بر دایرهٔ عمودی ستاره، مماس می‌شود. بنابراین مثلث نجومی در رأس مربوط به‌ستاره، قائم‌الزاویه می‌شود.

وقتی یک ستاره در وضعیت دورترین فاصله، در مشرق نصف‌النهار سماوی مکان باشد، گفته می‌شود که ستاره در وضعیت دورترین فاصلهٔ شرقی است و درصورتیکه در مغرب نصف‌النهار باشد، در وضعیت دورترین فاصلهٔ غربی است. در شکل (۲۷-۶)، ستارهٔ M در وضعیت دورترین فاصله شرقی قرار دارد.

با استفاده از قاعدهٔ نِپِر درمورد مثلث کروی قائم‌الزاویه، می‌توان سمت (A)، زاویهٔ ساعتی (h) و ارتفاع (a) یک جرم سماوی در وضعیت دورترین فاصله را، محاسبه کرد. چنانکه در شکل (۲۸-۶) نشان داده‌شده است، پنج‌قسمت دایرهٔ نِپِر به‌ترتیب عبارت است از: دو ضلع ($۹۰^\circ - a$) و ($۹۰^\circ - \delta$) و متمم سه قسمت بقیه یعنی ($۹۰^\circ - h$)، ($۹۰^\circ - A$) و $[۹۰^\circ - (۹۰^\circ - \varphi)] = \varphi$

بنابراین خواهیم داشت:

$$\sin(۹۰^\circ - h) = \tan(۹۰^\circ - \delta)\tan\varphi$$

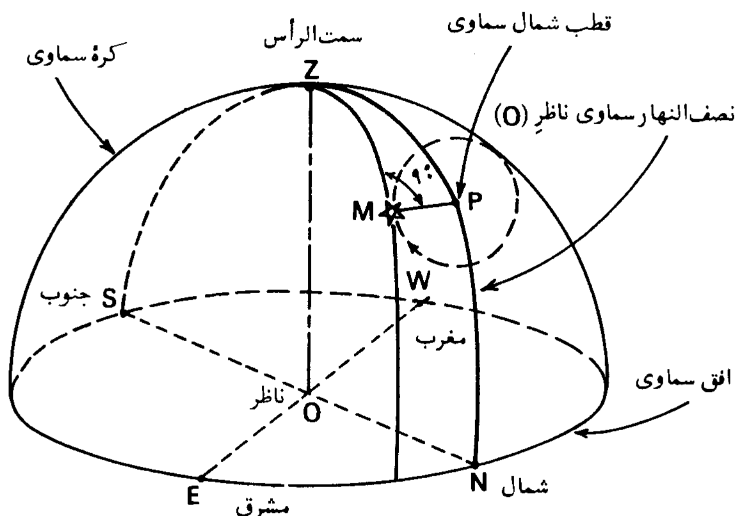
و یا

$$\cos h = \frac{\tan\varphi}{\tan\delta} = \tan\varphi\cot\delta \qquad (۶\text{-}۹)$$

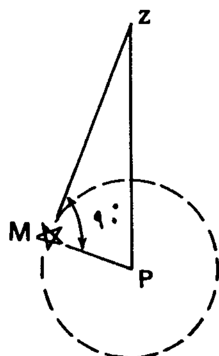
همچنین

$$\sin\varphi = \cos(۹۰^\circ - \delta)\cos(۹۰^\circ - a)$$

1. Star at Elongation

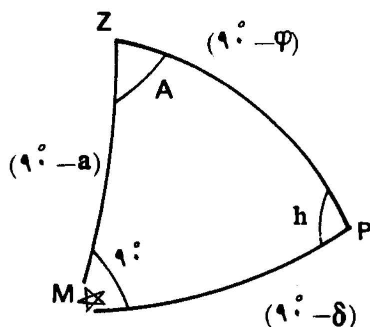


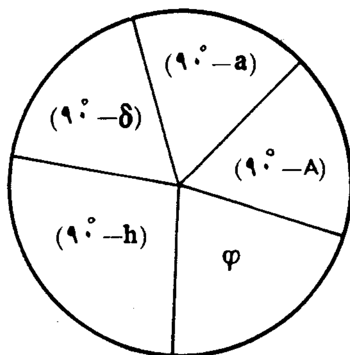

الف— مسیر حرکت ظاهری یک‌ستاره بر روی کرهٔ سماوی




ب— تصویر مسیر حرکت ظاهری یک‌ستاره نسبت به‌سمت‌الرأس و قطب سماوی

**شکل (۲۷ـ۶)— وضعیت دورترین فاصلهٔ یک ستاره.**




**شکل (۲۸ـ۶)— کاربرد قاعدهٔ نِپر درمورد یک ستاره در وضعیت دورترین فاصله، به‌شکل (۲۷ـ۶) مراجعه شود.**

و یا

$$sin\, a = \frac{sin\varphi}{sin\delta} = sin\varphi\, cosec\,\delta \qquad (۶\text{-}۱۰)$$

و برای سمت در وضعیت دورترین فاصله خواهیم داشت:

$$sin(۹۰^\circ - \delta) = cos(۹۰^\circ - A) cos\varphi$$

و یا

$$sin A = \frac{cos\delta}{cos\varphi} = cos\delta sec\varphi \qquad (۶\text{-}۱۱)$$

## ۳۹. وضعیت یک ستاره درسطح نصف‌النهار اصلی[1]

وقتی یک ستاره، در سطح نصف‌النهار اصلی ناظر قرار گیرد، گفته می‌شود که ستاره در وضعیت سطح نصف‌النهار اصلی است. در چنین حالتی زاویهٔ رأس سمت‌الرأس از مثلث نجومیِ ستاره، یعنی زاویهٔ رأسِ z ، قائمه می‌شود ــ شکل (۲۹ـ۶) ــ. سطح نصف‌النهار اصلی، صفحهٔ دایرهٔ عظیمه‌ای است که بر صفحهٔ نصف‌النهار سماوی مکان، عمود بوده، از نقاط مشرق، مغرب و سمت‌الرأس ناظر می‌گذرد.

در اینجا فرمول (۳ـ۲) که در فصل دوّم داده شده بود، به‌اثبات می‌رسد:

چنانکه میل خورشید ( $\delta$ ) و عرض جغرافیایی ( $\varphi$ ) یک محل ، در دست باشد، با استفاده از قاعدهٔ نپر درمورد مثلث کروی قائم‌الزاویه، می‌توان ارتفاع (a) و زاویهٔ ساعتی (h ) یک ستاره در وضعیت سطح نصف‌النهار اصلی را محاسبه کرد. در اینجا پنج قسمت دایرهٔ نپر، مطابق شکل (۳۰ـ۶)، به‌ترتیب عبارتند از: دو ضلع $(۹۰^\circ - \varphi)$ و $(۹۰^\circ - a)$ و متمم سه قسمت بقیه یعنی،

$$(۹۰^\circ - M)\ ،\ [۹۰^\circ - (۹۰^\circ - \delta) = \delta]\ \text{و}\ (۹۰^\circ - h)$$

و حالا خواهیم داشت:

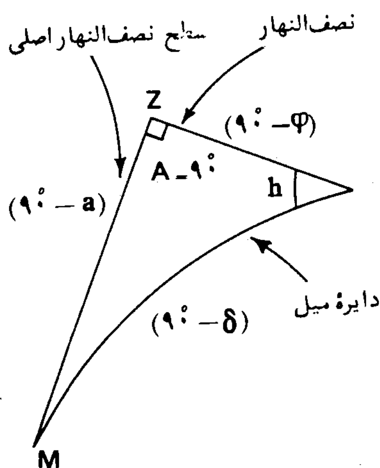
$$sin\delta = cos(۹۰^\circ - \varphi) cos(۹۰^\circ - a) = sin\varphi\, sin\, a$$

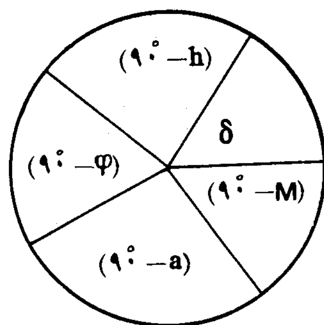
$$sin\, a = \frac{sin\delta}{sin\varphi} = sin\delta\, cosec\,\varphi$$

1. Star at Prime Vertical

قطب شمال سماوی
سمت‌الرأس
Z
کرهٔ سماوی
نصف‌النهار سماوی
P
(۹۰°)
M
مغرب
W
S جنوب
O
ناظر
شمال
N
E مشرق
افق
دایرهٔ سطح نصف‌النهار اصلی

شکل (۲۹—۶)—وضعیت یک ستاره در سطح نصف‌النهار اصلی.




شکل (۳۰ـ۶)— کاربرد قاعدهٔ نِپر درمورد وضعیت یک ستاره در سطح نصف‌النهار اصلی. به‌شکل (۲۹ـ۶) مراجعه شود.

و یا

$$\sin(90°-h)=\tan(90°-\varphi)\tan\delta$$

$$\cos h=\tan\delta\cot\varphi \qquad (۶-۱۳)$$

که همان فرمول (۳-۲) است.

## ۴۰. قرار گرفتن یک ستاره در افق[1]

یک ستاره وقتی در افق قرار می‌گیرد که ارتفاعِ (a) آن برابر صفر درجه و درنتیجه، فاصلهٔ سمت‌الرأسِ آن مساوی ۹۰ درجه باشد. چنانکه میل خورشید ($\delta$) و عرض جغرافیایی ($\varphi$) معلوم باشند، می‌توان سمت و زاویهٔ ساعتی ستاره‌ای را که در افق قرار می‌گیرد، محاسبه کرد.

برای این منظور کافی است که در فرمولهای (۴-۶) و (۵-۶)، مقدار a را برابر صفر بگیریم. درنتیجه، خواهیم داشت:

$$\cos A=\frac{\sin\delta}{\cos\varphi}=\sin\delta\sec\varphi \qquad (۶-۱۴)$$

و همچنین

$$\cos h=-\tan\delta\tan\varphi \qquad (۶-۱۵)$$

## ۴۱. قرار گرفتن ستاره در خارج از نصف‌النهار[2]

وقتی که ستاره‌ای از نصف‌النهار سماوی مکان، فاصله داشته باشد، گفته می‌شود که ستاره، در خارج از نصف‌النهار واقعست.

## ۴۲. فاصلهٔ زاویه‌ای ستارگان[3]

فاصلهٔ زاویه‌ای ستاره‌ای نسبت به‌ستارهٔ دیگر، توسط اندازهٔ کمانی، از دایرهٔ عظیمه‌ای که ناظر در مرکز آن قرار گرفته و بر روی کرهٔ سماوی از هردو ستاره گذر می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود. در چنین حالتی فاصلهٔ زاویه‌ای دو ستاره آن‌چنانکه بنظر

1. Star of Horizon 2. Star at Ex-Meridian
3. Angular Distance of Stars

ناظر می‌آید در نظر گرفته می‌شود.

## ۴۳. فاصلهٔ زاویه‌ای ماه[1]

فاصلهٔ زاویه‌ای ماه از خورشید، فاصلهٔ زاویه‌ای ماه نامیده می‌شود.

## ۴۴. مقارنه[2]

وقتی که خط واصل از زمین به‌خورشید و از زمین به یک سیاره، دقیقاً در یک راستا و جهت باشند گفته می‌شود که سیاره در حالت مقارنه است. در چنین حالتی، سیاره و خورشید هردو بر روی کرهٔ سماوی، بر هم منطبق می‌شوند و لذا طول و عرض آنها برابر است.

درمورد سیاره‌های زهره[3] و عطارد[4]، مقارنه، دو نوع است. یکی مقارنهٔ سفلی[5] و آن زمانی است که سیاره بین خورشید و زمین قرار گرفته، و دیگری مقارنهٔ علیا[6] و آن وقتی است که خورشید بین زمین و سیاره واقع است.

## ۴۵. مقابله[7]

وقتی که خط واصل از زمین به‌خورشید و از زمین به‌ماه و یا یک سیاره، دقیقاً در یک راستا امّا در دو جهت مختلف قرار داشته باشند، گفته می‌شود که ماه و یا سیاره درحالت مقابله‌اند درچنین حالتی طول خورشید و سیاره بر روی کرهٔ سماوی، ۱۸۰ درجه اختلاف خواهند داشت.

## ۴۶. خورشید[8]

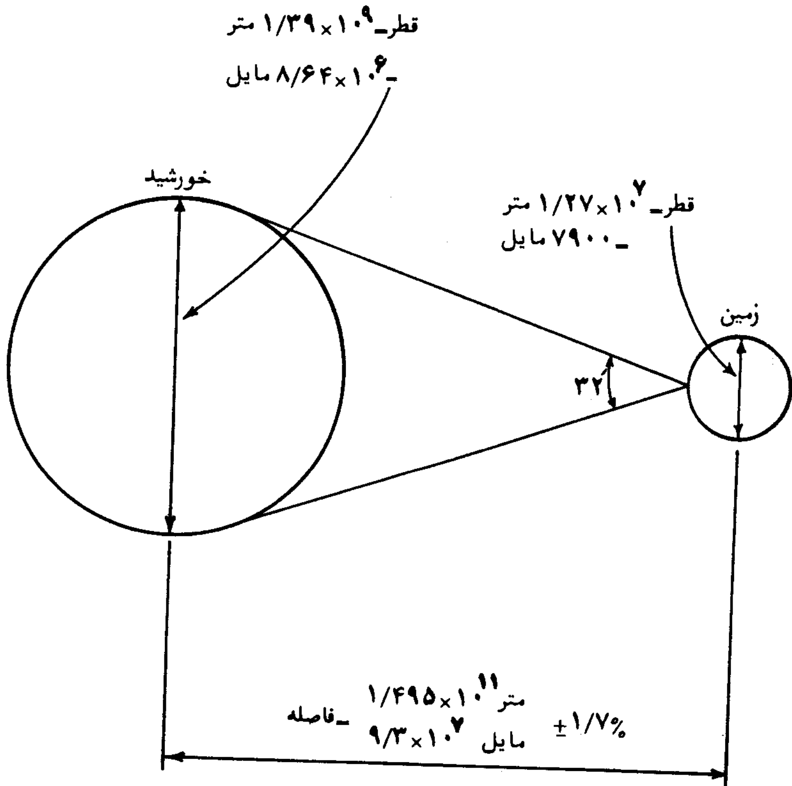
درمیان ستارگان آسمان، خورشید بیش از همه جلب توجه می کند، چه، تنظیم

1. Moon's Elongation 2. Conjunction 3. Venus
4. Mercury 5. Inferior Conjunction 6. Superior Conjunction
7. Opposition 8. The Sun

زندگی روزمرهٔ ما توسط حرکات آن صورت می‌گیرد. متوسط فاصلهٔ زمین و خورشید ۹۳ میلیون مایل و یا ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. میزان دقیق این فاصله، ۹۲،۹۵۵،۷۰۰/— مایل است. این فاصله، یک واحد نجومی[1] نامیده می‌شود. برای پی بردن به‌فاصله‌های بسیار زیاد مابین ستارگان، کافی است بگوئیم که یک واحد نجومی برابر $\frac{۱}{۲۵۰/۰۰۰}$ فاصلهٔ نزدیکترین ستاره به‌زمین است.

قطر ستارهٔ خورشید درحدود ۱/۳۹ میلیون کیلومتر و تقریباً ۱۰۹ برابر قطر کرهٔ زمین است. نسبت ابعاد زمین و خورشید درشکل (۳۱-۶) نمایانده شده است.

خورشید به‌شکل کره و ازمواد بسیار بسیار داغ در حالت گازی، تشکیل یافته است. خورشید به‌صورتیکه از زمین مشاهده می‌شود، هرچهار هفته یک‌بار حول محورش می‌چرخد. امّا این گردش به‌صورت گردش یک جسم صُلب[2] نیست؛ گردش




شکل (۳۱-۶) — مقایسهٔ ابعاد خورشید و زمین (بدون مقیاس).

1. Astronomical Unit 2. Solid Body

استوای آن درحدود ۲۷ روز و گردش نواحی قطبی آن، درحدود ۳۰ روز طول می‌کشد. خورشید دارای درجهٔ حرارت مؤثر جسم سیاه[1] برابر ۵۷۶۲ درجه کلوین[2] است. این بدان معنی است که مقدار انرژی حاصل از خورشید برابر انرژی بدست‌آمده از جسم سیاهی است که درجه حرارت آن ۵۷۶۲ درجه کلوین باشد. درجهٔ حرارت نواحی داخلی و مرکزی خورشید به‌گونه‌های متفاوت از $۸ \times ۱۰^۶$ تا $۴۰ \times ۱۰^۶$ درجهٔ کلوین و وزن مخصوص آن در حدود صدبرابر وزن مخصوص آب تخمین زده شده است. جرم خورشید تقریباً ـ/ ۳۳۲،۰۰۰ برابر جرم زمین است. متوسط وزن مخصوص زمین در حدود ۵/۵ و درحالیکه متوسط وزن مخصوص خورشید ۱/۴ برابر وزن مخصوص آب است.

## ۴۷. حرکات ظاهری خورشید[3]

خورشید دارای دو حرکت ظاهری است. یکی نسبت به زمین از مشرق به مغرب که بعلت حرکت دورانی زمین به‌دور محورش، از مغرب به‌مشرق، ظاهر می‌شود و می‌دانیم که حرکت دورانی زمین موجب پیدایش شب و روز است. حرکت ظاهری دیگر خورشید نسبت به ستارگان ثابت بر روی کرهٔ سماوی است.

چنانکه وضعیت خورشید نسبت به‌ستارگان دیگر دقیقاً بر روی کرهٔ سماوی بطور مداوم رصد شود، دیده خواهد شد که محلهای بدست آمده، برای خورشید بر روی کرهٔ سماوی، بر روی دایرهٔ عظیمه‌ای قرار خواهد گرفت که سطح آن با سطح دایرهٔ استوای سماوی، زاویه‌ای تقریباً برابر ۲۳/۴۵ درجه خواهد ساخت. این دایرهٔ عظیمه قبلا بعنوان دایرهٔ اکلیپتیک[4] و یا دایرة‌البروج تعریف شده است. علت نام‌گذاری اصطلاح اکلیپتیک بدان سبب است که خورشید و ماه‌گرفتگی[5] زمانی صورت می‌پذیرد که مسیر ماه این دایرهٔ عظیمه را قطع کند.

این حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرة‌البروج، سالی یک‌بار صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب که خورشید از طرف مغرب بجانب مشرق بر روی دایرة‌البروج از جنوب دایرهٔ استوای سماوی بطرف شمال بالا آمده، دایرهٔ استوای سماوی را در نقطهٔ اعتدال

1. Effective Black-body Temperature　　2. Kelvin
3. Apparent Motions of the Sun　　4. Ecliptic　　5. Eclipses

بهاری[1] قطع می کند. این عمل در اوّل بهار (اوّل فروردین ماه و یا حدود ۲۱ مارس) انجام می پذیرد.

بعد از بیان حرکت انتقالی زمین به دور خورشید و چگونگی بوجود آمدن فصول چهارگانه، درمورد حرکات ظاهری خورشید، مطلب بیشتری خواهد آمد.

## ۴۸. حرکت مداری زمین به دور خورشید[2]

حرکات خورشید ظاهری است و حقیقی نمی‌باشد. به همان گونه که حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید ناشی از حرکت وضعی زمین است، تغییرات ظاهری میل و بُعد خورشید نیز ناشی از حرکت سالانهٔ زمین به‌دور خورشید می‌باشد. بنابراین زمین دارای دو حرکت واقعی است؛ یکی حرکت وضعی و یا حرکت دورانی آن حول محورش، که موجب حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید است، و دیگری حرکت انتقالی و یا مداری سالیانه به‌دور خورشید که موجب پیدایش حرکت ظاهری سالانهٔ خورشید درامتداد دایرةالبروج، می‌باشد. جهت حرکت سالیانهٔ زمین، مانند حرکت روزانه‌اش به‌دور خود، ازطرف مغرب بجانب مشرق است.

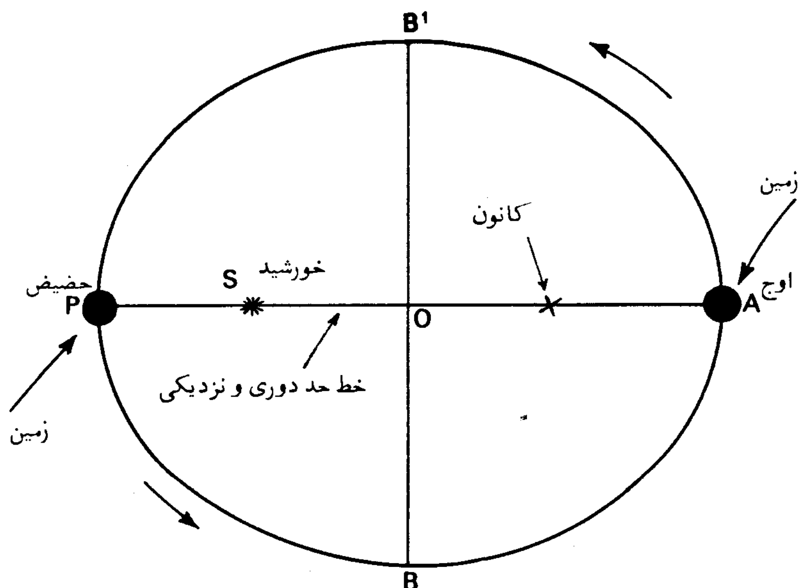
زمین درطی یک‌سال، یک بار درمسیری تقریباً دایره‌ای شکل و در جهت مغرب به‌مشرق به‌دور خورشید می‌گردد. شعاع تقریبی مسیر دایره‌ای شکل درحدود ۹۳ میلیون مایل است. بصورت دقیق‌تر، مدار حرکت زمین به‌شکل یک بیضی است که خورشید در یکی از کانونهای آن قرار دارد. در این صورت فاصلهٔ خورشید و زمین در طول سال متغیر است. مدار حرکت زمین تقریباً در یک صفحه واقع است که مدارحرکت ظاهری سالانهٔ خورشید نیز در همان صفحه است، و به همین دلیل، دایرةالبروج بعنوان فصل مشترک صفحهٔ مدار حرکت انتقالی زمین و کرهٔ سماوی نیز تعریف شد.

چنانکه می‌دانیم صفحهٔ دایرةالبروج با صفحه استوا، زاویه‌ای برابر °۲۳ و ′۲۷ می‌سازد. به همین دلیل محور چرخشی زمین، زاویه‌ای برابر °۶۶ و ′۳۳ با صفحهٔ دایرةالبروج دارد و امتداد محور درطی سال، بموازات خود بوده و تقریباً ثابت است.

سرعت حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید بطور متوسط ۱۸/۵ مایل درثانیه است.

درشکل (۳۲-۶) مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید توسط

1. Vernal Equinox 2. The Earth's Orbital Motion Round the Sun




**شکل (۳۲-۶)— مسیر بیضی‌شکل حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید.**

بیضی $AB^1PB$ نمایانده شده است. خورشید در یکی از کانونهای بیضی، در نقطهٔ S قرارداد و نقطهٔ O مرکز بیضی است. نسبت طول OS به OP به‌نام خروج از مرکز[1] نامیده می‌شود. خروج از مرکزِ (e) بیضی را می‌توان توسط طولهای قطر اطول[2] (a) و قطر اقصر[3] (b) بیضی نیز توسط فرمول زیر بیان کرد:

$$e=\frac{\sqrt{(a^2-b^2)}}{a} \qquad (۶\text{-}۱۶)$$

که

$$e=\frac{OS}{OP}$$

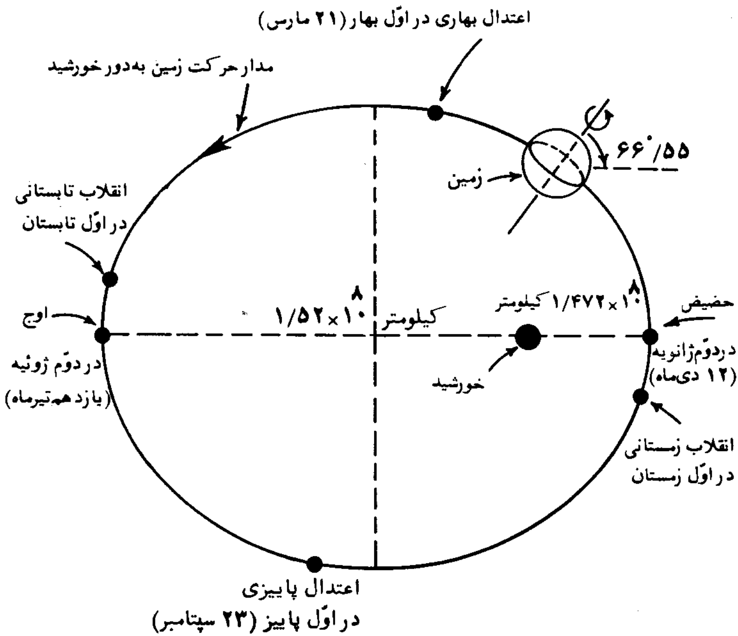
و یا

$$OS=e\times OP=e\times OA$$

درشکل (۳۳-۶) ابعاد مسیر بیضی‌شکل حرکت انتقالی زمین داده شده است. خروج از مرکز مدار حرکت زمین $\frac{1}{60}$ است. خروج از مرکز را نباید با بیضویت[4] که

1. Eccentricity 2. Major Axis 3. Minor Axis 4. Ellipticity

نمایانگر پهن‌شدگی[1] و یا فشردگی زمین در دو قطب آنست، اشتباه گرفت. این کمیت نیز قبلا تعریف شده و مقدارش $\frac{۱}{۲۹۷}$ است.




**شکل (۳۳ـ۶) ــ ابعاد مسیر بیضی‌شکل حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید.**

در شکل (۳۲ـ۶) نقاط P و A انتهای قطر اطول بیضی هستند. جهت حرکت زمین توسط علامت سهم (⟵) نمایانده شده است. در حوالی دوازدهم دی‌ماه (دوّم ژانویه) زمین به نقطهٔ P می‌رسد که دارای نزدیکترین فاصله از خورشید است. در این حالت گفته می‌شود که زمین در نقطهٔ حضیض[2] است. در حوالی یازدهم تیرماه (دوّم ژوئیه) زمین به نقطهٔ A می‌رسد که دارای دورترین فاصله از خورشید است که نفطهٔ اوج[3] نام دارد. فاصلهٔ زمانی دو حالت اوج و حضیض درحدود ۶ ماه است. وقتیکه زمین نسبت به خورشید در نقطهٔ حضیض است، در آنصورت خورشید نسبت به زمین، در نقطهٔ حضیض خورشیدی[4] است. همچنین وقتی که زمین نسبت به خورشید در نقطهٔ اوج است، خورشید نسبت به زمین در اوج خورشیدی[5] است. خط واصل بین دو نقطهٔ حضیض و

1. Flattening 2. Perihelion 3. Aphelion 4. Perigee
5. Apogee

اوج، به نام خط حدّ دوری و نزدیکی[1] موسوم است.
سرعت زاویه‌ای زمین در وضعیت حضیض، بیشترین و در نقطهٔ اوج کمترین مقدار آن است.

## ۴۹. فصول[2]

در طول مدتی که زمین در مسیر بیضی شکل، به‌دور خورشید می‌گردد، امتداد محور آن به‌موازات خود باقی مانده و زاویهٔ آن با سطح مدار درحدود °۶۶/۵۵ است.
مایل بودن[3] محور چرخشی زمین نسبت به‌سطح مداری آن، موجب بوجود آمدن فصول است.

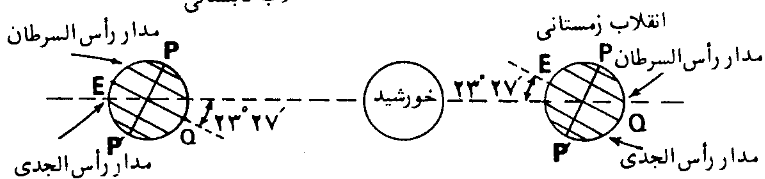
برای تشریح فصول چهارگانه، مدار حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید در شکل (۳۴ـ۶) نشان داده شده است. در وضعیت ۱، زمین در نقطه‌ای از مدار قرار می‌گیرد که انتهای شمالی محور چرخشی آن بطرف خورشید است. در اوّل تیرماه (۲۲ ژوئن) چنین بنظر می‌رسد که خورشید در شمالی‌ترین وضعیت‌خودقرارگرفته‌ودر مناطق شمالی خط استوا طول روزها بلندترین و طول شبها کوتاه‌ترین اندازه را دارد و این آغاز فصل تابستان در نیمکرهٔ شمالی است. این وضعیت زمین، انقلاب تابستانی[4] نامیده می‌شود. در این وضعیت، اشعهٔ خورشید بر روی مدار رأس‌السرطان، از بالای سر، بصورت قائم می‌تابد و کلیهٔ نقاط واقع بر این مدار، خورشید را در نیمهٔ روز درست در بالای سر خواهند داشت. عرض مدار رأس‌السرطان °۲۳/۴۵ شمالی است که متمم °۶۶/۵۵ درجه می‌باشد.

در وضعیت ۲، در اوّل مهرماه (۲۳ سپتامبر)، خورشید بر روی امتداد صفحهٔ دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد، بنابراین خورشید، بصورت قائم بر دایرهٔ استوا می‌تابد. این وضعیت شروع فصل پاییز است. در شروع فصل پاییز، طول شب و روز در تمام نقاط روی کرهٔ زمین برابر است. لحظهٔ قرارگیری خورشید بر روی امتداد صفحهٔ استوا در اوّل پاییز، به‌نام اعتدال پاییزی[5] موسوم است. در این وضعیت، محور زمین بر خط واصل بین زمین و خورشید عمود است.

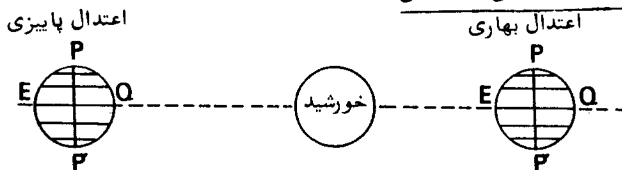
1. Apse Line  2. The Seasons  3. Inclination  4. Summer Solstice
5. Autumnal Equinox

بطرف ⋆
بهار
اعتدال بهاری
انقلاب تابستانی
۴
خط انقلاب زمستانی و تابستانی
زمستان
۱
خط حد دوری و نزدیکی
اوج
خورشید
حضیض
خط اعتدالین
تابستان
۳
انقلاب زمستانی
۲
پاییز
اعتدال پاییزی
بطرف ⋆

الف — سطح مدار حرکت انتقالی زمین




ب — مقطع خط انقلاب زمستانی و تابستانی




ج — مقطع خط اعتدالین

**شکل (۶-۳۴) — اثر حرکت سالیانهٔ زمین در بوجود آمدن چهار فصل.**

در وضعیت ۳، زمین در نقطه‌ای از مدار خود قرار می‌گیرد که نقطهٔ شمالی محور

آن بدور از خورشید است. در این حالت، خورشید در منتهاالیه وضعیت جنوبی خود قرار دارد و این شروع زمستان، در نیمکرهٔ شمالی در اوّل دی‌ماه (۲۲ دسامبر) است. در این حالت، روزها کوتاه‌تر و شبها بلندتر از همیشه است. این وضعیت زمین در اوّل زمستان، به‌انقلاب زمستانی[1] موسوم است. در این وضعیت اشعهٔ خورشید بر روی مدار رأس‌الجَدْیْ از بالای سر بصورت قائم می‌تابد و کلیهٔ نقاط واقع بر این مدار، خورشید را در نیمهٔ روز درست در بالای سر خواهند داشت. عرض مدار رأس‌الجَدْیْ ۲۳°/۴۵ جنوبی است که متمم ۶۶°/۵۵ است.

در وضعیت ۴، در اول فروردین‌ماه (۲۱ مارس)، دوباره خورشید بر امتداد صفحهٔ دایرهٔ استوای زمین قرار می‌گیرد و این شروع فصل بهار و طول شب و روز همه‌جا بر روی زمین برابر می‌شوند. لحظهٔ شروع این وضعیت به‌اعتدال بهاری[2] موسوم است. خط اعتدالین[3]، در شکل (۳۴-۶)، فصل مشترک دایرة‌البروج و دایرهٔ استوای سماوی است و بر خط انقلاب تابستانی و زمستانی[4] عمود است.

شروع فصول در نیمکرهٔ جنوبی درست برعکس نیمکرهٔ شمالی است؛ بدین معنی که وقتی در نیمکرهٔ شمالی فصل تابستان شروع می‌شود، در نیمکرهٔ جنوبی، زمستان آغاز می‌گردد.

با توجه به‌مطالب ذکر شده، سرد بودن هوا در زمستان بعلت دو دلیل زیر است:

۱. کوتاه بودن طول روزها در زمستان.

۲. اشعهٔ خورشید که بر روی زمین می‌تابد نسبت به‌فصول دیگر، متمایلتر است، یعنی از خط عمود بر سطح، بیشتر فاصله دارد، و این مطلب میزان قدرت دریافتی از نور خورشید را کاهش می‌دهد.

گرچه در فصل زمستان، زمین به‌خورشید نزدیکتر است، امّا این مطلب اثر کمی درگرمتر کردن هوا دارد. مقدار انرژی دریافتی از خورشید بر روی زمین، بمدت زمان تابش خورشید (طول روز) و ارتفاع شعاع تابش آن، بستگی دارد.

بعلت اثر پوششی[5] و ذخیره‌ای[6] اتمسفر زمین، حداکثر و حداقل درجهٔ حرارت بر روی کرهٔ زمین، به‌ترتیب در شروع وضعیتهای ۱ و ۳ اتفاق نمی‌افتد و افزایش و یا کاهش درجهٔ حرارت درحدود دو ماه، بطول می‌انجامد.

1. Winter Solstice
2. Vernal Equinox
3. Line of Equinoxes
4. Line of Solstices
5. Blanketing
6. Storage

## ۵۰. وضعیتهای ظاهری خورشید[1] در فصول مختلف

حال می‌توانیم به‌مطلب حرکات ظاهری خورشید که در مطلب شمارهٔ (۴۷) در این فصل، مورد بررسی قرار گرفت، برگردیم.

در شکل (۳۵ـ۶)، قسمت (ب)، وضعیتهای ظاهری روزانه خورشید در فصول مختلف نمایانده شده است. حال به‌مطالعهٔ این شکل، در رابطه با قسمت (الف) آن می‌پردازیم. بدین ترتیب که در قسمت (الف)، حرکت ظاهری سالیانهٔ خورشید بر روی دایرةالبروج و در قسمت (ب)، مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در فصول گوناگون، مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانکه از شکل قسمت (الف) پیداست، با ادامهٔ حرکت ظاهری سالیانهٔ خورشید بر روی دایرةالبروج، میل خورشید بطور دائم تغییر می‌کند. بعلت تغییر میل خورشید، مسیر ظاهری روزانهٔ خورشید در هرروز نسبت به‌روز قبل تغییر می‌یابد. بدینترتیب مسیر ظاهری روزانهٔ خورشید، یک دایرهٔ کامل نیست و بلکه مجموعهٔ حرکات روزهای متمادی بصورت یک منحنی مارپیچی[2] و یا فنری شکل است.

امّا به‌منظور ساده‌ترکردن تشریح مسئله، فرض بر این است که میل خورشید درطول یک روز ثابت باشد و اندازهٔ میل خورشید درطلوع خورشید، در تمام طول روز، به‌همان اندازه باقی بماند. درنتیجه، همچنانکه در قسمت (ب)، شکل (۳۵ـ۶) نمایانده شده، مسیرهای روزانه، بموازات هم نشان داده شده ودیگر بصورت فنری شکل نیستند.

در رور اول بهار، خورشید بر روی نقطهٔ اعتدال بهاری ($\gamma$)، در شکل قسمت (الف)، قرار داشته و میل آن صفردرجه است. در این روز مسیر حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید، در امتداد دایرهٔ استوا بوده و از نقطهٔ مشرقِ (E) افق طلوع و در نقطهٔ مغرب (W) آن غروب می‌کند. بدین ترتیب زاویه ساعتی خورشید در نقطهٔ E، ($\widehat{EPZ} = 90°$) است.

در نقطهٔ W، زاویهٔ ساعتی آن، بهنگام غروب نیز دوباره °۹۰ خواهد بود. به همین سبب طول شب و روز در این روز برابر است. در روز اوّل بهار، ارتفاع نصف‌النهاری خورشید[3] (SB) در هرمحلی برابر متمم عرض جغرافیایی ($90° - \varphi$) آن محل

1. Apparent Positions of the Sun 2. Spiral Curve
3. Meridian Altitude of the Sun

کرهٔ سماوی
سمت‌الرأس
Z
قطب شمال سماوی
P
نقطهٔ اعتدال پاییزی
مغرب
W
O
S جنوب
N شمال
γ
دایرةالبروج
نقطهٔ اعتدال بهاری
خورشید
افق سماوی
نقطه انقلاب
زمستانی
P
قطب جنوب سماوی
مشرق E
استوای سماوی
Z′
سمت‌القدم

الف ــ مسیر سالانهٔ خورشید

مسیر روزانهٔ خورشید
در اوّل تابستان
A
Z
کرهٔ سماوی
زاویهٔ ساعتی خورشید
در طلوع
B
$C_2$
W
P قطب شمال سماوی
مسیر روزانهٔ
خورشید
C
در روز اول
بهار و پاییز
خورشید
نصف‌النهار
سماوی مکان
$A^2$
S
N
O
ناظر
$C_1$
افق
مسیر روزانهٔ خورشید
در اوّل زمستان
E
$A^1$
صفحهٔ استوا

ب ــ مسیر روزانهٔ خورشید

**شکل (۳۵-۶) ــ وضعیت‌های ظاهری خورشید در فصول مختلف.**

خواهد بود. این مطلب را می‌توان بسادگی از فرمول شمارهٔ (۱-۱)، مذکور در فصل اوّل، نیز نتیجه گرفت؛ بدین ترتیب کافی است که در این فرمول اندازهٔ میل خورشید را برابر صفر ($\delta = 0^\circ$) بگیریم و درنتیجه خواهیم داشت ($a = (90^\circ - \varphi)$ (ارتفاع).

با ادامهٔ حرکت ظاهری سالانهٔ خورشید بر روی دایرةالبروج، از نقطهٔ ($\gamma$) به بعد، اندازهٔ میل خورشید مرتباً افزایش می‌یابد. در نقطهٔ (M)، نقطهٔ انقلاب تابستانی، میل خورشید به بیشترین میزان آن یعنی $\delta = +23^\circ/45$ در روز اوّل تابستان می‌رسد. مسیر $A^1\widehat{A}A^2$ نمایانگر مسیر خورشید در این روز است. خورشید درحالی از نقطهٔ $A^1$ طلوع می‌کند که زاویهٔ ساعتی آن ($\widehat{A^1PZ}$) بیشتر از ۹۰ درجه است. بهنگام غروب در نقطهٔ $A^2$ نیز زاویهٔ ساعتی آن بیشتر از ۹۰ درجه خواهد بود. بدین سبب روز اوّل تابستان، طولانی‌ترین روز است و ارتفاع نصف‌النهاری خورشید (SA) نیز بیشترین اندازه را خواهد داشت.

در روز اوّل پاییز، دوباره میل خورشید برابر صفر درجه شده و مسیر حرکت آن مانند روز اوّل بهار در امتداد دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد و طول شب و روز برابر می‌شود.

با ادامهٔ حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرةالبروج، میزان میل خورشید بطرف جنوب دایرهٔ استوا افزایش می‌یابد. در روز اوّل زمستان، اندازهٔ جنوبی میل خورشید ($\delta = -23^\circ/45$) بیشترین مقدار است. مسیر $C^1\widehat{C}C^2$، نمایانگر مسیر خورشید در این روز است. خورشید درحالی از نقطهٔ $C^1$ طلوع می‌کند که زاویهٔ ساعتی آن ($\widehat{C^1PZ}$) کمتر از ۹۰ درجه است. بهنگام غروب در نقطهٔ $C^2$ نیز زاویهٔ ساعتی آن کمتر از $90^\circ$ خواهد بود. بدین سبب طول شب بیشتر از طول روز است.

## ۵۱. تقویم نجومی دریانوردی[1]

ابتدا باید جدول نجومی[2] را شرح داد. جدول نجومی، مجموعه‌ای است که در فواصل زمانی منظم منتشر شده و در آن، موقعیت و وضعیت روزانهٔ خورشید، ماه، سیارات و بعضی ستاره‌ها به‌همراه سایر اطلاعات مورد لزومِ دریانوردان و اخترشناسان، داده می‌شود.

تقویم نجومی دریانوردی یک جدول نجومی است که سالیانه منتشر می‌شود،

1. Nautical Almanac 2. Ephemeris

بدین ترتیب که تقویم نجومیِ هر سال از چند سال قبل در دسترس است. تقویم نجومی، اولین بار در سال ۱۷۶۷ منتشر شد امّا از سال ۱۹۶۰ به‌بعد با نام همان جدول نجومی[1]، منتشر می‌شود. فرم خلاصه شده آن، برای استفاده در دریانوردی، با همان اسم قبلیِ تقویم نجومی دریانوردی انتشار می‌یابد. در فرم خلاصه شده دقت اطلاعات در حد دقتی است که از اندازه‌گیریهای انجام شده با سکستانت[2] حاصل می‌شود. محتویات جدول نجومی و جدول نجومی آمریکایی[3] یکی است.

## ۵۲. میل خورشید[4]

در فصل اوّل، در بخش (۱—۲) که تعیین عرض جغرافیایی با وسایل ساده، تشریح شد، دیدیم که به‌مقادیر میل خورشید نیاز پیدا می‌شود. بعلاوه به‌این مقادیر در سایر موارد نیز نیاز است. میل خورشید را می‌توان به‌طرق مختلف بدست آورد.

ممکن است آن را از جداول نجومی استخراج کرد. میل خورشید یک کمیت متغیر است و در جدول نجومی، مقادیر روزانهٔ میل خورشید حقیقی[5] (ظاهری، آنچنانکه بنظر می‌رسد) و خورشید میانگین[6] برحسب زمانِ شمسیِ ظاهری و زمانِ شمسی متوسط، به‌وقت نیمه‌شب گرینیچ به‌همراه تغییرات ساعتی آن در نیمه‌شب گرینیچ، داده شده است. تغییرات ساعتی داده شده در نیمه‌شب برحسب علامت آن ممکن است در حال اضافه شدن (علامت +) و یا در حال کم شدن (علامت —) باشد و میزان تغییر برای ساعات دیگر ثابت نیست و ساعت بساعت فرق می‌کند.

برای تعیین میل خورشید در هر ساعتی به‌وقت گرینیچ، می‌بایست از راه درون‌یابی[7] (انترپولاسیون) مابین مقادیر داده شده در جدول، آن را بدست آورد. اگر فرض کنیم مقدار تغییر میل خورشید یکسان و برابر مقدار تغییر در نیمهٔ مدت زمان در نظر گرفته شده باشد، می‌توان با استفاده از دو مقدار متوالی جدول از راه درون‌یابی خطی[8]، میل خورشید را در وقت معین بسادگی محاسبه کرد؛ در غیر این‌صورت می‌بایست تفاضلهای بیشتری را در محاسبه، وارد ساخت.

در اینجا مثالی را آورده‌ایم که تغییر میل خورشید برای ۲۴ ساعت داده شده

1. Astronomical Ephemeris 2. Sextant 3. American Ephemeris
4. Sun's Declination 5. Real (Apparent) Sun 6. Mean Sun
7. Interpolation 8. Linear Interpolation

است، بعبارت دیگر تفاوت میل خورشید در دو روزمتوالی در نظر گرفته شده است.

**مثال (۱-۶)**—میل خورشید را درساعت ۱۰ صبح پنجم ماه فوریه سال ۱۹۴۷ درطول جغرافیایی $۴۵^\circ$ شرقی، محاسبه کنید.

مقادیر میل خورشید در روزهای پنجم و ششم فوریه و مقدار تغییر آن در یک روز به‌شرح زیر ازجدول نجومی گرفته شده است:

| تغییر در روز | میل خورشید به‌وقت متوسط گرینیچ[1] در نیمهٔ شب | تاریخ |
| --- | --- | --- |
| | $-۱۶^\circ ۱۴' ۲۴''$ | پنجم فوریه |
| $+۱۰۸۳''/۹$ | | |
| | $-۱۵^\circ ۵۶' ۲۰''/۱$ | ششم فوریه |

$+۱۰۸۳''/۹ = (-۱۶^\circ ۱۴' ۲۴'') - (-۱۵^\circ ۵۶' ۲۰''/۱)$

**راه حل**—اوّل وقت معادل نصف‌النهار $۴۵^\circ$ شرقی را برحسب وقت گرینیچ حساب می کنیم: ازآنجاییکه هر $۱۵^\circ$ معادل یک ساعت است پس،

$$\text{ساعت } ۳ = \frac{۴۵}{۱۵} = \text{طول جغرافیائی } ۴۵^\circ \text{ شرقی}$$

چون محل، درمشرق نصف‌النهار گرینیچ است، بنابراین وقت آن جلوتر از وقت گرینیچ است و لذا وقتی که درآن محل، ساعت ۱۰ صبح است، درگرینیچ ساعت،

صبح ۷ = ۳ − ۱۰ صبح = وقت گرینیچ

است و درنتیجه، اندازهٔ میل خورشید با استفاده از درون‌یابی سادهٔ خطی، خواهد شد:

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۴' ۲۴'' + \frac{۷}{۲۴} \times (۱۰۸۳''/۹) = -۱۶^\circ ۹' ۷''/۸۶$$

چنانکه جدول نجومی در دسترس نباشد، می‌توان برای بدست آوردن میل از فرمول زیر استفاده کرد:

$$\sin\delta = -\cos\left[(D_S - ۱)\frac{۱۸۰^\circ}{۱۸۲/۶}\right]\sin(۲۳^\circ/۴۵) \qquad (۶\text{-}۱۷)$$

که درآن

$\delta =$ میل خورشید برحسب درجه

$D_S =$ شمارهٔ روز سال خورشیدی

در این فرمول Ds درسال میلادی بدینترتیب در نظرگرفته می‌شود که در روز ۲۱ دسامبر ۱ = Ds و در روز بیستم دسامبر سال بعد ۳۶۵ = Ds است. برای بدست آوردن

1. Greenwich Mean Time

روزهای هر ماه می‌توان از جدول (۴-۷) در فصل هفتم استفاده کرد.

**مثال (۶-۲)**—میل خورشید را برای مثال (۶-۱)، با استفاده از فرمول (۶-۱۷)، محاسبه کنید.

**راه حل**—با استفاده از فرمول (۶-۱۷) فقط میل خورشید برای روز معین، محاسبه می‌شود و سال مربوط، و ساعت روز دخالتی در فرمول ندارند. البته می‌توان میل خورشید را برای دو روز متوالی محاسبه کرده، سپس بین مقادیر بدست آمده برای ساعت مورد نظر، از طریق درون‌یابی، میل را بدست آورد. طریق استفاده از فرمول (۶-۱۷) در این مثال به‌شرح زیر است:

Ds = ۱۱ (کسر ماه دسامبر) + ۳۱ (ژانویه) + ۵ (فوریه)

Ds = ۴۷

$$\sin\delta = -\cos\left[(۴۷-۱)\frac{۱۸۰^\circ}{۱۸۲/۶}\right]\sin(۲۳^\circ/۴۵)$$

$$\delta = -۱۶^\circ/۲۴۱۸۵۹$$

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۴' ۳۰''/۶۹$$

بالاخره می‌توان با استفاده از جدول (۶-۱)، میل خورشید را برای هر روز سال میلادی استخراج کرد. مقادیر میل اعلام شده در این جدول، معدل چهار سالهٔ یک دورهٔ سال کبیسه است. ممکن است مقادیر میل خورشید برای سالهای بخصوصی، اندکی با مقادیر جدول، متفاوت باشد، امّا در انقلاب تابستانی و زمستانی، مقدار تفاوت، قابل اغماض است و در اعتدالین که مقدار تفاوت زیاد است، از ۸ الی ۹ دقیقه در سالهای کبیسه و در سالهای بلافاصله ماقبل آنها بیشتر نمی‌شود. در سالهای دیگر مقدار تفاوت از حدود ۳ دقیقه حتی در اعتدالین، بیشتر نمی‌گردد.

میل خورشید حاصل از این جدول برای مثال (۶-۲)، در پنجم ماه فوریه، برابر:

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۰'$$

است.

## ۵۳. حرکت تقدیمی[1] (پرسسیون) و رقص محوری[2]

حرکت آرام نقاط اعتدالین بطرف مغرب بر روی دایرةالبروج، درنجوم، به‌نام

1. Precession 2. Nutation

## جدول شمارهٔ (۱-۶)—میل خورشید در روزهای سال

| روز | ژانویه | | فوریه | | مارس | | آوریل | | مه | | ژوئن | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° |
| ۱ | ۴ | -۲۳ | ۲۰ | -۱۷ | ۴۹ | -۷ | ۱۸ | ۴ | ۵۴ | ۱۴ | ۵۸ | ۲۱ |
| ۲ | ۵۹ | -۲۲ | ۳ | -۱۷ | ۲۶ | -۷ | ۴۲ | ۴ | ۱۲ | ۱۵ | ۶ | ۲۲ |
| ۳ | ۵۴ | -۲۲ | ۴۶ | -۱۶ | ۳ | -۷ | ۵ | ۵ | ۳۰ | ۱۵ | ۱۴ | ۲۲ |
| ۴ | ۴۸ | -۲۲ | ۲۸ | -۱۶ | ۴۰ | -۶ | ۲۸ | ۵ | ۴۷ | ۱۵ | ۲۲ | ۲۲ |
| ۵ | ۴۲ | -۲۲ | ۱۰ | -۱۶ | ۱۷ | -۶ | ۵۱ | ۵ | ۵ | ۱۶ | ۲۹ | ۲۲ |
| ۶ | ۳۶ | -۲۲ | ۵۲ | -۱۵ | ۵۴ | -۵ | ۱۳ | ۶ | ۲۲ | ۱۶ | ۳۵ | ۲۲ |
| ۷ | ۲۸ | -۲۲ | ۳۴ | -۱۵ | ۳۰ | -۵ | ۳۶ | ۶ | ۳۹ | ۱۶ | ۴۲ | ۲۲ |
| ۸ | ۲۱ | -۲۲ | ۱۵ | -۱۵ | ۷ | -۵ | ۵۹ | ۶ | ۵۵ | ۱۶ | ۴۷ | ۲۲ |
| ۹ | ۱۳ | -۲۲ | ۵۶ | -۱۴ | ۴۴ | -۴ | ۲۱ | ۷ | ۱۲ | ۱۷ | ۵۳ | ۲۲ |
| ۱۰ | ۵ | -۲۲ | ۳۷ | -۱۴ | ۲۰ | -۴ | ۴۳ | ۷ | ۲۷ | ۱۷ | ۵۸ | ۲۲ |
| ۱۱ | ۵۶ | -۲۱ | ۱۸ | -۱۴ | ۵۷ | -۳ | ۷ | ۸ | ۴۳ | ۱۷ | ۲ | ۲۳ |
| ۱۲ | ۴۷ | -۲۱ | ۵۸ | -۱۳ | ۳۳ | -۳ | ۲۸ | ۸ | ۵۹ | ۱۷ | ۷ | ۲۳ |
| ۱۳ | ۳۷ | -۲۱ | ۳۸ | -۱۳ | ۱۰ | -۳ | ۵۰ | ۸ | ۱۴ | ۱۸ | ۱۱ | ۲۳ |
| ۱۴ | ۲۷ | -۲۱ | ۱۸ | -۱۳ | ۴۶ | -۲ | ۱۱ | ۹ | ۲۹ | ۱۸ | ۱۴ | ۲۳ |
| ۱۵ | ۱۶ | -۲۱ | ۵۸ | -۱۲ | ۲۲ | -۲ | ۳۳ | ۹ | ۴۳ | ۱۸ | ۱۷ | ۲۳ |
| ۱۶ | ۶ | -۲۱ | ۳۷ | -۱۲ | ۵۹ | -۱ | ۵۴ | ۹ | ۵۸ | ۱۸ | ۲۰ | ۲۳ |
| ۱۷ | ۵۴ | -۲۰ | ۱۶ | -۱۲ | ۳۵ | -۱ | ۱۶ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۹ | ۲۲ | ۲۳ |
| ۱۸ | ۴۲ | -۲۰ | ۵۵ | -۱۱ | ۱۱ | -۱ | ۳۷ | ۱۰ | ۲۵ | ۱۹ | ۲۴ | ۲۳ |
| ۱۹ | ۳۰ | -۲۰ | ۳۴ | -۱۱ | ۴۸ | -۰ | ۵۸ | ۱۰ | ۳۸ | ۱۹ | ۲۵ | ۲۳ |
| ۲۰ | ۱۸ | -۲۰ | ۱۳ | -۱۱ | ۲۴ | -۰ | ۱۹ | ۱۱ | ۵۱ | ۱۹ | ۲۶ | ۲۳ |
| ۲۱ | ۵ | -۲۰ | ۵۲ | -۱۰ | ۰ | ۰ | ۳۹ | ۱۱ | ۴ | ۲۰ | ۲۶ | ۲۳ |
| ۲۲ | ۵۲ | -۱۹ | ۳۰ | -۱۰ | ۲۴ | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۱۶ | ۲۰ | ۲۶ | ۲۳ |
| ۲۳ | ۳۸ | -۱۹ | ۸ | -۱۰ | ۴۷ | ۰ | ۲۰ | ۱۲ | ۲۸ | ۲۰ | ۲۶ | ۲۳ |
| ۲۴ | ۲۴ | -۱۹ | ۴۶ | -۹ | ۱۱ | ۱ | ۴۰ | ۱۲ | ۳۹ | ۲۰ | ۲۵ | ۲۳ |
| ۲۵ | ۱۰ | -۱۹ | ۲۴ | -۹ | ۳۵ | ۱ | ۰ | ۱۳ | ۵۰ | ۲۰ | ۲۴ | ۲۳ |
| ۲۶ | ۵۵ | -۱۸ | ۲ | -۹ | ۵۸ | ۱ | ۱۹ | ۱۳ | ۱ | ۲۱ | ۲۳ | ۲۳ |
| ۲۷ | ۴۰ | -۱۸ | ۳۹ | -۸ | ۲۲ | ۲ | ۳۸ | ۱۳ | ۱۲ | ۲۱ | ۲۱ | ۲۳ |
| ۲۸ | ۲۵ | -۱۸ | ۱۷ | -۸ | ۴۵ | ۲ | ۵۸ | ۱۳ | ۲۲ | ۲۱ | ۱۹ | ۲۳ |
| ۲۹ | ۹ | -۱۸ | ۳ | -۸ | ۹ | ۳ | ۱۶ | ۱۴ | ۳۱ | ۲۱ | ۱۶ | ۲۳ |
| ۳۰ | ۵۳ | -۱۷ | ۰۰ | ۰۰ | ۳۲ | ۳ | ۳۵ | ۱۴ | ۴۱ | ۲۱ | ۱۳ | ۲۳ |
| ۳۱ | ۳۷ | -۱۷ | ۰۰ | ۰۰ | ۵۵ | ۳ | ۰۰ | ۰۰ | ۵۰ | ۲۱ | ۰۰ | ۰۰ |

## جدول (۱ــ۶) ــ دنباله ــ میل خورشید در روزهای سال

| روز | ژوئیه | | اوت | | سپتامبر | | اکتبر | | نوامبر | | دسامبر | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° | ′ | ° |
| ۱ | ۹ | ۲۳ | ۱۰ | ۱۸ | ۳۰ | ۸ | ۵۷ | -۲ | ۱۴ | -۱۴ | ۴۳ | -۲۱ |
| ۲ | ۵ | ۲۳ | ۵۵ | ۱۷ | ۹ | ۸ | ۲۰ | -۳ | ۳۴ | -۱۴ | ۵۲ | -۲۱ |
| ۳ | ۱ | ۲۳ | ۴۰ | ۱۷ | ۴۷ | ۷ | ۴۴ | -۳ | ۵۳ | -۱۴ | ۱ | -۲۲ |
| ۴ | ۵۶ | ۲۲ | ۲۴ | ۱۷ | ۲۵ | ۷ | ۷ | -۴ | ۱۱ | -۱۵ | ۱۰ | -۲۲ |
| ۵ | ۵۱ | ۲۲ | ۸ | ۱۷ | ۳ | ۷ | ۳۰ | -۴ | ۳۰ | -۱۵ | ۱۸ | -۲۲ |
| ۶ | ۴۵ | ۲۲ | ۵۲ | ۱۶ | ۴۰ | ۶ | ۵۳ | -۴ | ۴۸ | -۱۵ | ۲۵ | -۲۲ |
| ۷ | ۳۹ | ۲۲ | ۳۶ | ۱۶ | ۱۸ | ۶ | ۱۶ | -۵ | ۶ | -۱۶ | ۳۲ | -۲۲ |
| ۸ | ۳۳ | ۲۲ | ۱۹ | ۱۶ | ۵۶ | ۵ | ۳۹ | -۵ | ۲۴ | -۱۶ | ۳۹ | -۲۲ |
| ۹ | ۲۶ | ۲۲ | ۲ | ۱۶ | ۳۳ | ۵ | ۲ | -۶ | ۴۱ | -۱۶ | ۴۶ | -۲۲ |
| ۱۰ | ۱۹ | ۲۲ | ۴۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۵ | ۲۵ | -۶ | ۵۸ | -۱۶ | ۵۲ | -۲۲ |
| ۱۱ | ۱۱ | ۲۲ | ۲۷ | ۱۵ | ۴۸ | ۴ | ۴۸ | -۶ | ۱۵ | -۱۷ | ۵۷ | -۲۲ |
| ۱۲ | ۴ | ۲۲ | ۱۰ | ۱۵ | ۲۵ | ۴ | ۱۰ | -۷ | ۳۲ | -۱۷ | ۲ | -۲۳ |
| ۱۳ | ۵۵ | ۲۱ | ۵۲ | ۱۴ | ۲ | ۴ | ۳۲ | -۷ | ۴۸ | -۱۷ | ۷ | -۲۳ |
| ۱۴ | ۴۶ | ۲۱ | ۳۳ | ۱۴ | ۳۹ | ۳ | ۵۵ | -۷ | ۴ | -۱۸ | ۱۱ | -۲۳ |
| ۱۵ | ۳۷ | ۲۱ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۶ | ۳ | ۱۸ | -۸ | ۲۰ | -۱۸ | ۱۴ | -۲۳ |
| ۱۶ | ۲۸ | ۲۱ | ۵۶ | ۱۳ | ۵۳ | ۲ | ۴۰ | -۸ | ۳۵ | -۱۸ | ۱۷ | -۲۳ |
| ۱۷ | ۱۸ | ۲۱ | ۳۷ | ۱۳ | ۳۰ | ۲ | ۲ | -۹ | ۵۰ | -۱۸ | ۲۰ | -۲۳ |
| ۱۸ | ۸ | ۲۱ | ۱۸ | ۱۳ | ۶ | ۲ | ۲۴ | -۹ | ۵ | -۱۹ | ۲۲ | -۲۳ |
| ۱۹ | ۵۸ | ۲۰ | ۵۹ | ۱۲ | ۴۳ | ۱ | ۴۵ | -۹ | ۱۹ | -۱۹ | ۲۴ | -۲۳ |
| ۲۰ | ۴۷ | ۲۰ | ۳۹ | ۱۲ | ۲۰ | ۱ | ۷ | -۱۰ | ۳۳ | -۱۹ | ۲۵ | -۲۳ |
| ۲۱ | ۳۶ | ۲۰ | ۱۹ | ۱۲ | ۵۷ | ۰ | ۲۹ | -۱۰ | ۴۷ | -۱۹ | ۲۶ | -۲۳ |
| ۲۲ | ۲۴ | ۲۰ | ۵۹ | ۱۱ | ۳۳ | ۰ | ۵۰ | -۱۰ | ۰ | -۲۰ | ۲۶ | -۲۳ |
| ۲۳ | ۱۲ | ۲۰ | ۳۹ | ۱۱ | ۱۰ | ۰ | ۱۲ | -۱۱ | ۱۳ | -۲۰ | ۲۶ | -۲۳ |
| ۲۴ | ۰ | ۲۰ | ۱۹ | ۱۱ | ۱۴ | -۰ | ۳۳ | -۱۱ | ۲۶ | -۲۰ | ۲۶ | -۲۳ |
| ۲۵ | ۴۷ | ۱۹ | ۵۸ | ۱۰ | ۳۷ | -۰ | ۵۴ | -۱۱ | ۳۸ | -۲۰ | ۲۵ | -۲۳ |
| ۲۶ | ۳۴ | ۱۹ | ۳۸ | ۱۰ | ۰۰ | -۱ | ۱۴ | -۱۲ | ۵۰ | -۲۰ | ۲۳ | -۲۳ |
| ۲۷ | ۲۱ | ۱۹ | ۱۷ | ۱۰ | ۲۴ | -۱ | ۳۵ | -۱۲ | ۱ | -۲۱ | ۲۱ | -۲۳ |
| ۲۸ | ۸ | ۱۹ | ۵۶ | ۹ | ۴۷ | -۱ | ۵۵ | -۱۲ | ۱۲ | -۲۱ | ۱۹ | -۲۳ |
| ۲۹ | ۵۴ | ۱۸ | ۳۵ | ۹ | ۱۰ | -۲ | ۱۵ | -۱۳ | ۲۳ | -۲۱ | ۱۶ | -۲۳ |
| ۳۰ | ۴۰ | ۱۸ | ۱۳ | ۹ | ۳۴ | -۲ | ۳۵ | -۱۳ | ۳۳ | -۲۱ | ۱۲ | -۲۳ |
| ۳۱ | ۲۵ | ۱۸ | ۵۲ | ۸ | ۰۰ | ۰۰ | ۵۵ | -۱۳ | ۰۰ | ۰۰ | ۸ | -۲۳ |

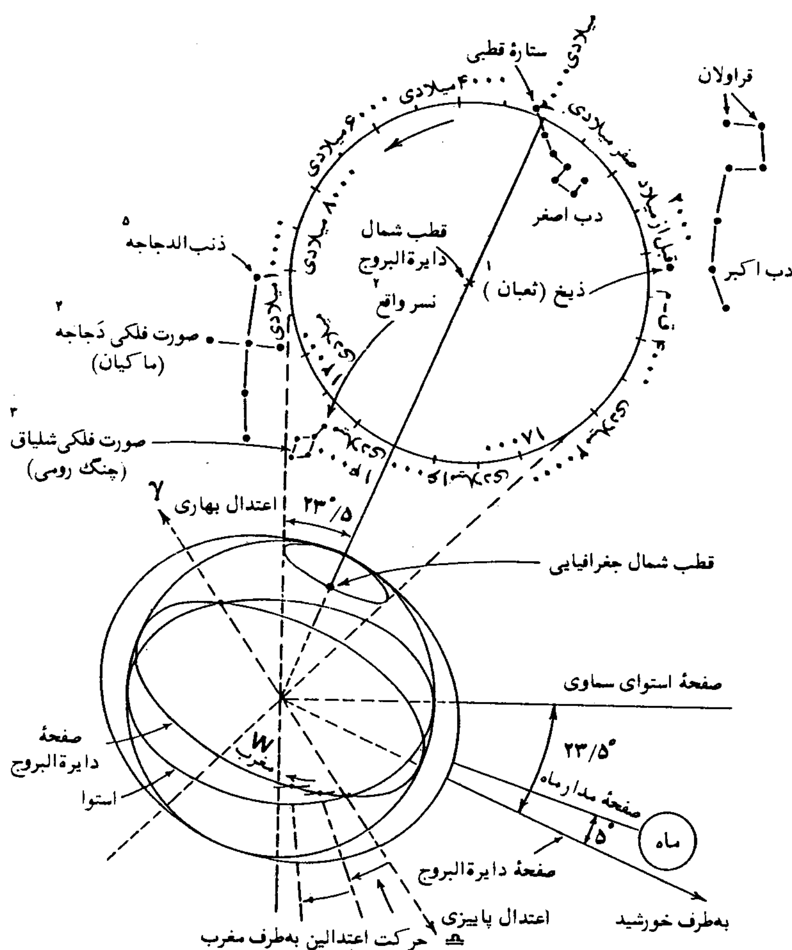
پدیدهٔ حرکت تقدیمی شناخته شده است. این حرکت، اساساً بر اثر جذب گرانشی[1] ماه و خورشید بر روی برآمدگی استوایی[2] زمین در حال چرخش، بوجود آمده است. بدین سبب محور چرخشی زمین از یک امتداد ثابت در فضا خارج شده، مانند محور یک فرفرهٔ چرخان[3]،مسیری تقریباً دایره‌ای را به‌دور قطبهای دایرة‌البروج[4] طی می‌کند. البته این مسیر واقعاً قابل تکرار نیست و همیشه یک مسیر، نمی‌باشد. در نتیجهٔ این حرکت محور زمین، وضعیت نقاط اعتدالین تغییر می‌یابد.

سرعت حرکت چرخشی زمین به‌دور خود در خط استوا، برابر—/۱،۰۳۷ مایل در ساعت است. این چرخش، به‌هنگامی‌که زمین هنوز بصورت توده‌ای مذاب بود، موجب برآمدگی ناحیهٔ استوایی شده است. در نتیجه، زمین بجای اینکه به‌شکل کره‌ای کامل باشد، به‌شکل یک‌شبه کرهٔ پخت[5] است. جذب‌گرانشی، بین یک‌جسم دوردست و یک شبه کرهٔ پخت با آنچه که در مورد یک کرهٔ کامل بوجود می‌آید، تا حدی متفاوت است.

مسیر حرکت ظاهری سالیانهٔ خورشید بر پهنهٔ آسمان، یعنی دایرة‌البروج با صفحهٔ استوای زمین زاویه‌ای برابر °۲۳ و ′۲۷ دارد. بنابراین صفحهٔ برآمدگی استوای زمین نیز با دایرة‌البروج زاویه‌ای برابر °۲۳ و ′۲۷ می‌سازد. صفحهٔ مسیر حرکت ماه به‌دور زمین نیز زاویه‌ای برابر °۱۸/۵ تا °۲۸/۵ با صفحهٔ استوای زمین دارد. بنابراین بجز دوبار در سال، بهنگام اعتدالین که برآمدگی استوایی زمین دایرة‌البروج را قطع می‌کند، در سایر مواقع خورشید و ماه با جذب‌گرانشی خود، زمین را بطرف صفحات مداری خود می‌کشند تا تعادل دینامیکی[6] برقرار گردد. از آنجاییکه ماه به‌زمین نزدیکتر است، اثر جذب گرانشی آن نیز بیشتر است. زاویهٔ مسیر حرکت ماه به‌دور زمین با صفحهٔ دایرة‌البروج، فقط در حدود °۵ و ′۸ است و مجموعهٔ اثر جذب گرانشی ماه و خورشید به‌حرکت تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید[7] موسوم است، شکل (۳۶-۶).

حرکت تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید، مهمترین نوع آنست و اولین بار، توسط هیپارکوس[8] در حدود سال ۱۲۵ قبل از میلاد کشف و در اروپا برای نخستین مرتبه توسط اسحق نیوتن[9] (۱۷۲۷-۱۶۴۲ میلادی) شرح داده شده است.

1. Gravitational Attraction 2. Equatorial Bulge 3. Top
4. The Poles of the Ecliptic 5. Oblate Spheroid 6. Dynamic Equilibrium
7. Lunisolar Precession 8. Hipparchus 9. Isaac Newton

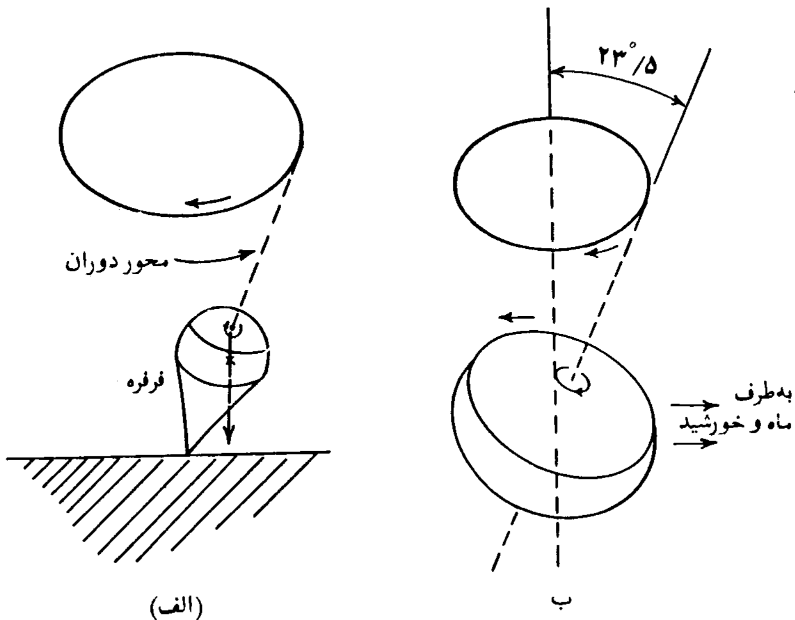



**شکل (۶ـ۳۶) — تقدیم اعتدالین در اثر جاذبهٔ ماه و خورشید.**

بعلت حرکت چرخشی زمین به‌دور محورش، زمین هیچوقت در صفحات مداری ماه و صفحهٔ دایرةالبروج قرار نمی‌گیرد. چه، نیروی وارده بر یک جسم چرخان اثری مشابه با آنچه که درمورد یک جسم غیر چرخان اتفاق می‌افتد، ندارد. مثلا یک فرفره، چنانکه در حال چرخش نباشد، در اثر نیروی جاذبهٔ زمین خواهد افتاد. امّا یک

1. Thuban 2. Vega 3. Lyra 4. Cygnus 5. Deneb

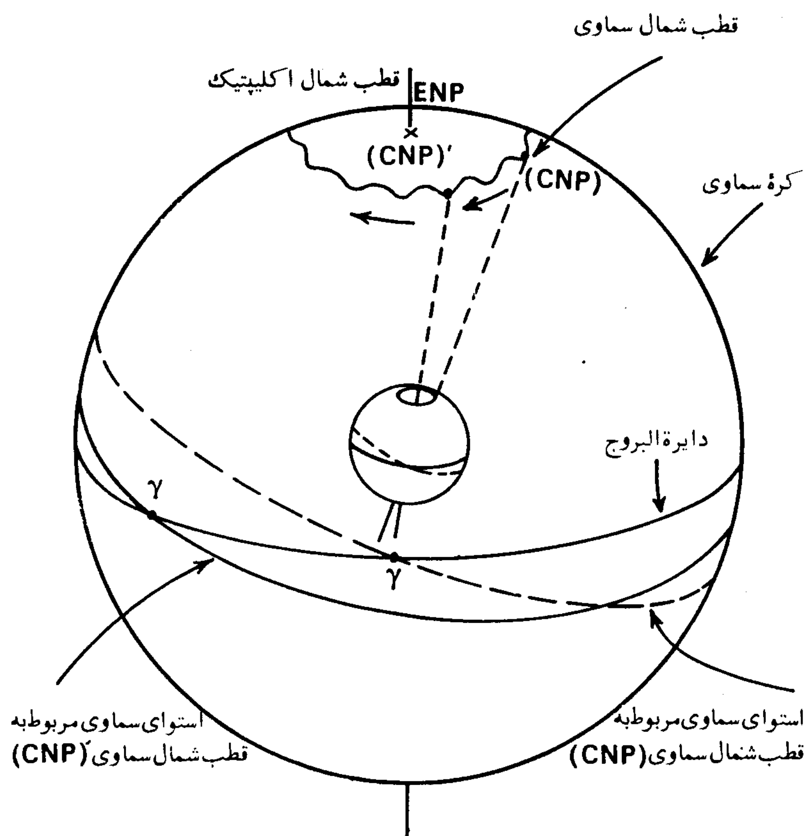
فرفرهٔ چرخان تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ زمین، به‌دور محوری به‌موازات امتداد نیروی جاذبه، دارای حرکت تقدیمی است، شکل (۳۷-۶)-ب. به همین ترتیب زمین درحال گردش به‌دور خود، بجای انطباقِ برآمدگی استوای آن بر صفحهٔ مداری[1]، دارای حرکت تقدیمی به‌دور محوری شده که تقریباً امتداد آن بر صفحهٔ مداری عمود است، شکل (۳۷-۶)- الف.




**شکل (۳۷-۶)—حرکت تقدیمی فرفره و زمینِ چرخان. جذب گرانشی زمین بر مرکز ثقل فرفره موجب افتادنِ آن می‌شود، امّا چرخیدن فرفره مانع افتادنش می‌گردد. درمورد زمین، حرکت دورانی آن موجب می‌شود که برآمدگی استوایی زمین در امتداد دایرةالبروج قرار نگیرد و حرکت مخروطی‌شکل محور زمین بوجود آید.**

حرکت تقدیمی محور زمین موجب شده است که قطب شمال و جنوب سماوی، مسیری دایره‌ای شکل بر روی کرهٔ سماوی و به‌دور قطبهای اکلیپتیک بپیمایند. در شکل (۳۸-۶)، حرکت تقدیمی قطب شمال سماوی (CNP) به‌طرف مغرب به‌دور قطب شمال دایرةالبروج (ENP)، نمایانده شده است. قطب شمال سماوی در یک دورهٔ تقریباً —/۲۶،۰۰۰ ساله یک دایرهٔ کامل را به‌دور قطب شمال اکلیپتیک می‌پیماید.

1. Orbital Plane




**شکل (۶ـ۳۸) —حرکت تقدیمی و رقص محوری بر کرهٔ سماوی. وضعیت استوای سماوی با توجه به‌حرکت قطب شمال سماوی تغییر می‌کند. دایرهٔ خط پر، دایرهٔ استوای سماوی مربوط به‌قطب شمال سماوی (CNP)' و دایرهٔ خط‌چین مربوط به‌وضعیت (CNP) است.**

اگر نیروهای وارده از جانب خورشید و ماه بر استوای برآمدهٔ زمین همیشه یک اندازه بود، حرکت تقدیمی حاصل، همیشه یکنواخت می‌شد. امّا نیروهای وارده، به‌دلایل زیر متغیر است:

۱. دوبار در سال در اوّل بهار و پاییز، خورشید بر امتداد دایرهٔ استوا قرار می‌گیرد و در چنین حالاتی برآمدگی استوای زمین بر صفحهٔ دایرةالبروج قرار می‌گیرد.

۲. دوبار در ماه، جاذبهٔ ماه بر زمین بر امتداد صفحهٔ مداری آن قرار می‌گیرد.

۳. مدار حرکت ماه که همیشه در حدود °۵ نسبت به دایرةالبروج متمایل است، خود دارای حرکت تقدیمی به‌دور اکلیپتیک است. بدین ترتیب که محور عمود بر مدار حرکت ماه یک مخروطی را در حدود کمی کمتر از ۱۹ سال به‌دور محور عمود بر دایرةالبروج می‌پیماید. این اثر به‌نام حرکت قهقرایی مدار ماه[1] نامیده می‌شود. این اثر به همراه دو پدیدهٔ مذکور در فوق موجب رقص محوری[2] محور زمین در مسیر حرکت تقدیمی آن می‌گردد. محور زمین بجای طی یک دایرهٔ کامل به‌دور قطبهای دایرة‌البروج، مانند آنچه که در شکل (۳۸ـ۶) نشان داده شده، یک منحنی تناوبی[3] را می‌پیماید.

در اینجا چند اثر ناشی از حرکت تقدیمی محور زمین شرح داده می‌شود:

مهمترین اثر ناشی از حرکت تقدیمی، تغییر مختصات ستارگان است. از آنجاییکه بُعد یک ستاره از نقطهٔ اعتدال بهاری، در نظر گرفته می‌شود، هر گونه تغییر در وضعیت آن، موجب تغییر بعد ستاره می‌گردد. هنگامیکه قطب شمال سماوی از وضعیت (CNP) به‌وضعیت (′CNP)، در شکل (۳۸ـ۶)، بطرف مغرب می‌رود، در نتیجه محل برخورد دایرةالبروج و استوای سماوی نیز تغییر محل داده و از نقطهٔ اعتدال بهاری $\gamma$ بطرف مغرب به‌نقطهٔ اعتدال بهاری $\gamma'$ بر روی دایرةالبروج می‌رسد و بُعد ستارگان با گذشت زمان اضافه می‌شود. تغییر مکان استوای سماوی نیز موجب تغییر میل ستارگان می‌گردد.

از آنجاییکه دورهٔ حرکت تقدیمی مخروطی شکل در حدود —/۲۵،۸۰۰ سال طول می‌کشد، لذا تغییر محل نقطهٔ اعتدال بهاری ($\gamma$) در یکسال خواهد شد:

$$\frac{۳۶۰^\circ \times ۶۰' \times ۶۰''}{۲۵،۸۰۰} = ۵۰''/۲۲ \qquad \text{در سال}$$

این عدد، ثابت حرکت تقدیمی[4] است.

همچنین از آنجاییکه محل نقطهٔ اعتدال بهاری بر روی دایرةالبروج به‌آرامی به‌سمت مغرب تغییر مکان می‌یابد، لذا طول ستارگان نیز به‌آرامی تغییر پیدا کرده و به‌مرور اضافه‌تر می‌شود. امّا عرض ستارگان ثابت می‌ماند، زیرا فاصلهٔ آنها تا دایرة‌البروج تغییر نمی‌یابد، چه، محل خود دایرةالبروج بدون تغییر است.

1. Regression of the Moon's Orbit
2. Nutation
3. Periodic Curve
4. Constant of Precession

رقص محوری نیز در مدت تناوب ۱۹ ساله، موجب تغییرات کمی در مختصات ستارگان می‌شود. این تغییرات کم بوده و بیشترین میزان آن ″ ۹ (ثابت رقص محوری[1]) است. در مواردی مانند میزان کردن یک تلسکوپ، غالباً از این تغییر صرفنظر می‌شود، امّا تغییرات مربوط به‌حرکت تقدیمی را باید همیشه در نظر گرفت که بتوان تلسکوپ را با دقت میزان کرد.

بعلت حرکت تقدیمی، محور چرخشی زمین در طول زمان، بطرف ستارگان مختلف قرار خواهد گرفت، شکل (۳۶ـ۶). ستارهٔ قطبی[2] که روشنترین ستاره در نزدیکی قطب شمال سماوی فعلی است، همیشه ستارهٔ قطبی باقی نخواهد ماند. در حدود سال ـــ/۱۳،۰۰۰ میلادی، ستارهٔ روشن نزدیک به‌قطب شمال سماوی، ستارهٔ نسر واقع[3] در صورت فلکی شلیاق[4] (چنگ رومی) خواهد بود.

وضعیت و قرار گرفتن ستارگان بر پهنهٔ آسمان، که توسط منجمین و نویسندگان زمانهای قدیم تصویر شده است، دیگر با وضعیت ستارگان در حال حاضر مطابقت ندارد. لذا رصدخانه ها و آثار تاریخی قدیمی، مانند اهرام مصر، دیگر در امتداد های مورد نظر سازندگان آنها قرار ندارند.

از زمانی که هیپارکوس (منجم یونانی، ۱۳۰ ق. م.)، منطقه البروج را بطور منظم تشریح و ترسیم کرد، در حدود ـــ/۲،۱۰۰ سال می‌گذرد. در این مدت تغییر مکان مداوم و آرام نقطهٔ اعتدال بهاری بسمت مغرب و در نتیجه تغییر دستگاههای مختصات مربوط، که بر مبنای نقطهٔ اعتدال بهاری استوارند، موجب شده که حدود بروج دوازده‌گانهٔ منطقه البروج، تقریباً ۳۰ درجه به‌سمت مغرب، تغییر مکان دهد. بنابراین وقتی که گفته می‌شود که آفتاب در برج حَمَل[5] قرار گرفته، در حقیقت در برج حوت[6]، درست درسمت مغرب برج حمل، قرار دارد.

در اینجا، دوباره به‌شکل (۳۴ـ۶)، درمورد فصول چهارگانه برمی‌گردیم و اثر حرکت تقدیمی را بر چگونگی فصول در دو نیمکرهٔ شمالی و جنوبی، مورد بررسی قرار می‌دهیم. ـــ/۱۳،۰۰۰ سال بعد از حالا، زمستان در نیمکرهٔ شمالی زمانی آغاز خواهد شد که زمین در وضعیت ۱ باشد. یعنی زمستان وقتی شروع می‌شود که فاصلهٔ زمین تا خورشید حداکثر باشد و این موجب سردتر شدن آب و هوای زمستان می‌شود. در نیمکرهٔ جنوبی، وضعیت برعکس خواهد بود. در حال حاضر زمستان در وضعیت ۱ شروع

1. Constant of Nutation 2. Polaris 3. Vega 4. Lyra
5. Sign of Aries 6. Pisces

می‌شود که فاصلهٔ زمین تا خورشید حداکثر است.

سیزده‌هزار سال بعد، زمستان در نیمکرهٔ جنوبی در وضعیت ۳ شروع خواهد شد که فاصلهٔ زمین تا خورشید حداقل است.

در حال حاضر قطب شمال سماوی نزدیک ستارهٔ قطبی است. عکسهایی که توسط تلسکوپهای ثابت، از این ستاره گرفته شده است، دایره‌های کوچکی را به‌مرکز قطب شمال سماوی نشان می‌دهد. عکسی که در سال ۱۹۱۷ گرفته شده در مقایسه با عکس سال ۱۹۴۰، مسیر ستارهٔ قطبی، دارای شعاع بزرگتری است؛ بعبارت دیگر ستارهٔ قطبی در سال ۱۹۴۰ نسبت به‌سال ۱۹۱۷ به‌قطب شمال سماوی، نزدیک‌تر بوده است. در فاصلهٔ سال ۱۹۱۷ تا ۱۹۴۰ فاصلهٔ ستارهٔ قطبی از قطب شمال سماوی، باندازهٔ ۷ دقیقهٔ قوسی تقلیل یافته که نتیجهٔ حرکت تقدیمی محور چرخشی زمین است.

می‌بایست توضیح داده شود که پدیده‌های حرکت تقدیمی و رقص محوری، در اثر نیروهای خارج از کرهٔ زمین بوجود آمده‌اند که در نتیجه، موجب تغییر امتداد محور چرخشی زمین در فضا می‌شوند. امّا می‌توان گفت که در اثر این پدیده، کل جرم زمین نسبت به‌محور چرخشی، ثابت و بهمراه تغییرات محور چرخشی حرکت می‌کند. چنانکه اگر امروز پرچمی را در نقطه قطب شمال جغرافیایی نصب کنیم، ۱۳،۰۰۰/– سال بعد، محل پرچم همچنان قطب شمال جغرافیایی است و عرض جغرافیایی آن همان ۹۰ درجه باقی خواهد ماند.

از آنجائیکه حرکت تقدیمی و رقص محوری، اثری در تغییر عرض جغرافیایی بر روی کرهٔ زمین ندارند، لذا از این بابت موجب تغییرات آب و هوا نمی‌گردند. اگرچه، همانطور که توضیح داده شد با در نظر گرفتن یک تقویم کامل، موجب انتقال فصول می‌شوند.

قبلا در بخش (۴-۱)، فصل اوّل، درمورد تغییرات عرض جغرافیایی در اثر پدیده‌های دیگر صحبت شده است.

نوع دیگر حرکت تقدیمی، حرکت تقدیمی سیاره‌ای[1] است که در اثر جذب گرانشی ناشی از سیاره‌های مهم[2] ایجاد می‌گردد. در این پدیده، زمین از مسیر حرکت انتقالی خود، به‌سمت مسیر حرکت سیاره‌های مربوط، به‌دور خورشید، کشیده می‌شود. در نتیجه، دایرةالبروج در امتداد دایرهٔ استوای سماوی، انتقال پیدا می‌کند که موجب تغییر مکان نقاط اعتدالین بطرف مشرق می‌گردد. این حرکت در بُعد، طول و عرض

1. Planetary Precession 2. Major Planets

ستارگان اثر می‌گذارد، امّا در میل ستارگان تأثیری ندارد، زیرا فاصلهٔ آنها تا استوای سماوی، بدون تغییر می‌ماند.

حرکت تقدیمی ناشی از اثر ماه و خورشید و حرکت تقدیمی سیاره‌ای، بعنوان تغییرات درازمدت[1] شناخته شده‌اند. مجموعهٔ دو حرکت تقدیمی، به‌نام حرکت تقدیمی عمومی[2] معروف است.

## ۵۴. تقویم

تقویم به هر کدام از روشهایی اطلاق می‌شود که برای نگهداشتن حساب روزها، بکار گرفته می‌شوند. تقویم مجموعه قواعدی را گویند که بتوان شرح وقایعی را به‌ترتیب زمانی و یا گاه‌شماری[3] بر آن مبنا، بنا نهاد. در عمل، تقویم ممکن است بصورت یک جدول، یک کتاب و یا یک سری از صفحات باشد که نشانگر روزهای هفته، ماهها و گاهی شمارهٔ ترتیب روز در سال باشد.

گاهی یک تقویم، اطلاعات بیشتری را شامل می‌شود، مثل تاریخ تعطیلیها و وقایع تاریخی و همچنین اطلاعات نجومی مانند اهلهٔ قمر[4]، طول روز، ساعتهای طلوع و غروب خورشید، خورشید و ماه‌گرفتگی و جذر و مد.

لغت انگلیسی تقویم[5] دارای ریشه لاتینی[6] است که از اسم روز اوّل ماه در زمان رومیها[7]، ناشی شده است. کوشش اقوام و ملل مختلف در بوجود آوردن تقویم، نشانهٔ شروع مطالعات نجومی آنهاست. با استقرار یک تقویم خاص و ثبت وقایع در مدت زمان طولانی، تقویم یک ملت جزءِ تاریخ آنها حساب شده و علاقهٔ به‌آن در میان کسانیکه آن را بکار می‌برند، افزون می‌شود. لذا اصلاح و تغییر یک تقویم، امری مشکل بوده، حتی مدلل‌ترین اصلاحات پیشنهادی، موجب مقاومتهای شدید می‌شود.

اساسی‌ترین واحدهای مورد استفاده در تقویم، روز، ماه و سال است که بترتیب، از حرکات زمین، ماه و خورشید بدست آمده‌اند. نکتهٔ پیچیدهٔ تقویمهای مختلف، در عدم یکسانی دوره‌های نجومی، مبنای آنهاست. نوری که از خورشید و ماه می‌آید بر مبنای

1. Secular (Long Period) Variations
2. General Precession
3. Chronology
4. Phases of the Moon
5. Calendar
6. Kalendae
7. Roman Times

دوره‌های روز خورشیدی[1] و ماه هلالی[2] است، در حالیکه فصول، بر مبنای سال برجی[3] است.

بسیاری از تقویمهای زمانهای پیشین، در اصل، بر مبنای ماه[4] بوده‌اند. سال عبارت از ۱۲ ماه ۳۰ روزه بوده و با درمیان افزودن[5] ماهها و روزها بطور حساب شده و یا غیر حساب شده، ترتیبی فراهم می‌شد که طول سال با سال شمسی[6] هماهنگ گردد.

**روز:** روز مدت زمانی است که زمین یک بار به‌دور خود می‌گردد. با توجه به‌نحوهٔ حساب طول مدت گردش زمین و مبنای محاسبهٔ آن نسبت به‌جهتهای مختلف در فضا، چند نوع روز تعریف می‌شود.

برای لغت روز، معنیهای مختلفی وجود دارد. قدیمیترین معنی آن طول مدت روشنایی و یا روز طبیعی[7] است که درمقابل مدت تاریکی در شب است. در حال حاضر کلمهٔ روز بطور معمول به‌این معنی اطلاق می‌گردد.

امّا بیشترین معنی معمول آن مجموعهٔ طول مدت تاریکی و روشنایی و یا شب و روز است. حتی به‌این معنی هم تعاریف مختلفی برای روز موجود است. اقوام بابلی در قدیم[8] شروع روز را طلوع آفتاب می‌گرفتند. یونانیان و کلیمی‌ها، غروب آفتاب را بعنوان شروع روز در نظر داشتند. مصریان و رومیها شروع آن را از نصف شب می‌گرفتند، که در حال حاضر بیشتر کشورها همینطور عمل می‌کنند.

**روز شمسی حقیقی[9] (ظاهری):** زمان بین دو عبور پیاپی مرکز قرص خورشید از نصف‌النهار زمینی یک محل، روز شمسی حقیقی (ظاهری) نامیده می‌شود. اصطلاح ظاهری بدان سبب است که گردش خورشید درطول روز درآسمان، یک گردش ظاهری است و در حقیقت این زمین است که به‌دور خود می‌چرخد. بعبارت دیگر روز شمسی حقیقی، مدت زمانی است که زمین نسبت به‌مرکز قرص خورشید، یک بار به‌دور خود می‌گردد. طول مدت یک روز شمسی حقیقی، در تاریخهای مختلف، درطول سال، متغیر است. این بدان سبب است که سرعت زمین در طیّ حرکت انتقالی آن به‌دور خورشید ثابت نبوده بلکه متغیر می‌باشد و همچنین سطح دایرةالبروج نسبت به‌سطح استوای سماوی، متمایل است.

تغییرات طول روز شمسی حقیقی برای تمام نقاط روی زمین یکسان است، امّا

1. Solar Day 2. Synodic Month 3. Tropical Year 4. Lunar
5. Intercalation 6. Solar Year 7. Natural Day 8. Ancient Babylonians
9. Apparent (Real) Solar Day

طول روز طبیعی و یا طول مدت روشنایی برای مکانهای مختلف متفاوت بوده، بستگی به‌فاصلهٔ آنها از دایرهٔ استوا و یا عرض جغرافیایی آنها دارد. طول مدت یک روز شمسی حقیقی در طی یکسال از ۲۴ ساعت و ۳۰ ثانیه در ماه دسامبر تا ۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه در ماه سپتامبر متغیر است.

**روز شمسی متوسط**[1]: برای تعریف روز شمسی متوسط، می‌بایست ابتدا خورشید میانگین یا متوسط[2] را تعریف کرد. خورشید متوسط عبارت از نقطه‌ای فرضی است که با سرعتی یکنواخت و برابر سرعت متوسط خورشید واقعی[3] بر روی دایرةالبروج، در امتداد دایره استوای سماوی درحال حرکت باشد. بعبارت دیگر خورشید متوسط، دایرهٔ استوای سماوی را با سرعتی یکنواخت در طی یکسال شمسی می‌پیماید، در حالیکه خورشید واقعی دایرةالبروج را با سرعتی غیریکنواخت در طی یکسال شمسی طی می‌کند.

زمان بین دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار زمینی یک محل، روز شمسی متوسط نامیده می‌شود. طول زمانی یک روز شمسی مَتوسط با ساعتهای معمولی، دقیقاً ۲۴ ساعت است.

**روزنجومی**[4]: در زبان لاتین، لغت Sidus به‌معنی ستاره[5] است و لغت Sidereal از همین کلمه مشتق شده است. زمان بین دو عبور پیاپی نقطهٔ اعتدال بهاری از نصف‌النهار را روز نجومی می‌نامند. مانند آنچه که درمورد روز شمسی مصطلح است، بین روز نجومی ظاهری[6] و روز نجومی متوسط[7] فرق هست، اما اختلاف آنها جزء کوچکی از ثانیه است.

یک روز نجومی متوسط ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹۰۵۴ ثانیه است و بنابراین از روز شمسی متوسط که ۲۴ ساعت کامل است باندازهٔ ۳ دقیقه و ۵۵/۹۰۹۴۶ ثانیه کوتاهتر است.

چنانکه در بالا گفته شد، روز نجومی با توجه به‌نقطهٔ اعتدال بهاری سنجیده می‌شود. در طی مثال بعدی اختلاف موجود را چنانکه نسبت به‌یک امتداد ثابت در فضا در نظر گرفته شود، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

**مثال (۳ـ۶)** ـــ چنانکه زمان بین دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا را نسبت به‌نصف‌النهار یک‌محل درنظر بگیریم، اختلاف آن با زمان دوعبور پیاپی نقطهٔ

1. Mean Solar Day 2. Mean Sun 3. True Sun 4. Sidereal Day
5. Star 6. Apparent Sidereal Day 7. Mean Sidereal Day

اعتدال بهاری از نصف‌النهار محل، که همان روز نجومی است، به‌چه اندازه‌ای خواهد بود؟

**راه حل** — زمان بین دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا نسبت به‌نصف‌النهار یک محل، از طول مدت یک روز نجومی بلندتر است. این مطلب، بعلت حرکت تقدیمی نقطهٔ اعتدال بهاری به‌سمت مغرب است. هر نقطه‌ای بر روی زمین که بطرف مشرق به‌دورخودمی‌چرخد، درمقایسه‌با یک‌امتداد ثابت زودتر به نقطهٔ اعتدال بهاری خواهد رسید.

تقدیم اعتدال بهاری در یک سال برجی، در حدود ۵۰/۲۲ ثانیه در امتداد دایرة‌البروج است. امّا قبلا در فصل چهارم، درمثال (۶-۴)، این نتیجه حاصل شد که هر یک درجه در امتداد دایرة‌البروج برابر ۰/۹۱۷۴۱۶ درجه در امتداد دایرهٔ استوای سماوی است. بنابراین تقدیم نقطهٔ اعتدال بهاری که در طی یک روز نسبت به‌دایرهٔ استوای سماوی صورت می‌گیرد، به‌اینصورت خواهد شد:

$$\frac{۵۰''/۲۲ \times ۰/۹۱۷۴۱۶}{۳۶۵/۲۴۲۲} = ۰/۱۲۶۱۴۲۶ \ \text{ثانیه} \quad \text{ثانیهٔ قوسی}$$

این بدان معنی است که زمین در یک دور خود، معادلِ [۰/۱۲۶۱۴۲۶ — (″۳۶۰۰ × °۳۶۰)] ثانیهٔ قوسی را در یک‌روز نجومی می‌پیماید.

امّا از طرف دیگر یک‌روز نجومی برابر ۸۶،۱۶۴/۰۹ ثانیهٔ زمانی است و در نتیجه، اختلاف موردنظر به‌این شکل درخواهد آمد:

$$\text{ثانیه } ۰/۰۰۸۳۹ = \frac{(\text{ثانیهٔ قوسی } ۰/۱۲۶۱۴۲۶) \times (\text{ثانیه } ۸۶۱۶۴/۰۹)}{[(۳۶۰ \times ۳۶۰۰) - ۰/۱۲۶۱۴۲۶] \ \text{ثانیهٔ قوسی}}$$

بنابراین، زمان دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت درفضا، باندازهٔ ۰/۰۰۸۴ ثانیه از روز نجومی بلندتر است. اینگونه روز نجومی که نسبت به‌یک امتداد ثابت در فضا سنجیده می‌شود، از نظر تئوری حایز اهمیت است و نام و اصطلاح بخصوصی برای آن موجود نیست.

**طول روز طبیعی:** گردش ظاهری خورشید به‌دور محور زمین یک مسیر فنری‌شکل را درطول سال می‌پیماید. این مسیر در هر روز، یک حلقه از مسیر فنری شکل و یا تقریباً یک دایره بموازات سطح استوای سماوی است. بعلت متمایل بودن محور چرخشی زمین نسبت به‌سطح مدار حرکت انتقالی زمین، اندازه‌میل خورشید و در نتیجه، دایرهٔ مسیر گردش ظاهری روزانهٔ خورشید، روز بروز تغییر می‌کند. برای یک ناظر معین، صفحهٔ

استوای سماوی بوسیلهٔ صفحهٔ افقِ ناظر که شب و روز را از هم جدا می کند، قطع شده و به‌دو نیمه تقسیم می‌شود.

طول شب و روز برای تمام نقاط روی استوای زمین، بدون در نظر گرفتن اثر شکست نور در طلوع و غروب خورشید، برابر است. بجز در مناطق قطبی، شکست نور خورشید موجب می‌شود که طول مدت استقرار خورشید در بالای افق روزانه باندازهٔ چهار دقیقه اضافه شود؛ طلوع خورشید دو دقیقه زودتر و غروب آن دو دقیقه دیر انجام می‌پذیرد. بنابراین زمانی که خورشید واقعاً در بالای افق است، چهار دقیقه کمتر از مدتی است که ظاهراً خورشید در بالای افق در پهنهٔ آسمان دیده می‌شود.

با فاصله گرفتن از استوای زمین و رفتن به‌نقاط شمالیتر و یا جنوبیتر آن، نابرابری طول شب و روز بتدریج بیشتر می‌شود. در قطبها وضعیت متفاوت است و یک شبِ تقریباً شش ماهه یک روز تقریباً شش ماهه را در پی دارد. علی‌رغم نابرابری طول شب و روز، در هر نقطهٔ معین بر روی زمین و در یک تاریخ معلوم، مدت زمانی که خورشید در بالای افق است شش ماه و با گذشت دوازده ماه، طول مدت زمانیکه خورشید در زیر افق و یا شب است، نیز شش ماه خواهد بود. البته این مطلب بدون در نظر گرفتن اثر شکست نور است که طول مدت روز را افزون می کند. اگر زمین فاقد هرگونه اتمسفری بود، مجموع طول روزهای طبیعی و طول شبها در هر نقطهٔ زمین در طی یکسال کاملا برابر بود.

طول مدت شب و روز را می‌توان از فرمول (۱۵-۶) بصورت زیر محاسبه کرد:
چنانچه قبلا توضیح داده شد، می‌توان زاویهٔ ساعتی طلوع و غروب خورشید (قرار‌گرفتن خورشید در افق) را از فرمول زیر حساب کرد

$$\cos h = -\tan\delta \tan\varphi$$

اگر از تغییرات میل خورشید در طول روز صرفنظر شود، خواهیم داشت:

(زاویهٔ ساعتی خورشید در طلوع و یا غروب برحسب زمان) × ۲ = طول روز

و یا

$$\text{طول روز} = \frac{۲ \times h}{۱۵} \qquad (۶\text{-}۱۸)$$

و به‌همین ترتیب

$$\text{طول شب} = ۲ \times \left(\frac{۱۸۰^\circ - h}{۱۵}\right) \qquad (۶\text{-}۱۹)$$

حال با استفاده از فرمول (۱۵-۶)، مطلب را بیشتر پی می‌گیریم:
در خط استوا، $\varphi = ۰$ است و لذا خواهیم داشت:

$$\cos h = ۰$$

$$h = ۹۰^\circ$$

$$\text{ساعت } ۱۲ = \frac{۲ \times ۹۰}{۱۵} = \text{طول شب (و یا روز)}$$

بنابراین چنانکه قبلاً هم گفته شد، برای تمام مقادیر میل خورشید، طول شب و روز برای تمام نقاط روی خط استوا برابراند.

در لحظهٔ اعتدال بهاری و پاییزی میل خورشید برابر صفر درجه ($\delta = ۰$) است، در نتیجه،

$$\cos h = ۰ \qquad h = ۹۰^\circ$$

$$\text{ساعت } ۱۲ = \frac{۲ \times ۹۰}{۱۵} = \text{طول شب (و یا روز)}$$

بنابراین برای تمام مقادیر عرض جغرافیایی،$\varphi$، یعنی برای تمام نقاط روی زمین، طول شب و روز در زمان اعتدالین برابر است.

اگر $\delta = (۹۰^\circ - \varphi)$ باشد، خواهیم داشت:

$$\cos h = -\widehat{\tan}(۹۰^\circ - \varphi)\widehat{\tan\varphi}$$

$$\cos h = -۱ \qquad h = ۱۸۰^\circ$$

$$\text{ساعت } ۲۴ = \frac{۲ \times ۱۸۰}{۱۵} = \text{طول روز}$$

این بدان معنی است که خورشید غروب نخواهد داشت.

همچنین اگر $\delta = -(۹۰^\circ - \varphi)$ باشد،

$$\cos h = ۱$$

$$h = ۰ \text{ درجه}$$

$$\text{طول روز} = ۰$$

منظور این است که خورشید طلوع نخواهد داشت.

**طول مدت بین‌الطلوعین**[1]: بین‌الطلوعین که در بامداد فلق و در شامگاه شفق نامیده می‌شود، اصطلاحاً به هوای گرگ و میش و یا با روشنی کم اطلاق می‌شود که شب را از روز و یا روز را از شب متمایز می‌کند. وقتی خورشید در زیر صفحهٔ افق قرار می‌گیرد

1. The Duration of Twilight

و باصطلاح غروب می کند، تاریکی دفعتاً فرا نمی‌رسد، چه، اشعهٔ خورشید هنوز بر طبقات اتمسفر در بالای سر ناظر می‌تابد و آن را روشن می کند. ذرات بخارآب و سایر ذرّات‌موجود در اتمسفر، نور خورشید را منعکس و آن را در تمام جهات پخش می کنند. با فاصله گرفتن بیشتر خورشید از سطح افق بطرف پایینتر، مقدار کمتری از طبقات اتمسفر بالای سر ناظر، مورد تابش نور قرار می‌گیرد و لذا، نور، پراکنده شده و در نتیجه، روشنائی، کمتر می گردد. نتیجهٔ رصدهای انجام شده نشان داده است که روشنائی مربوط، مادامی که خورشید باندازهٔ ۱۸ درجه در زیر سطح افق قرار گیرد، ادامه دارد. بنابراین برای بدست آوردن طول مدت بین‌الطلوعین می‌بایست مدتی را که فاصلهٔ سمت‌الرأس خورشید (z) از ۹۰ درجه به($۱۰۸^\circ = ۱۸^\circ + ۹۰^\circ$)، در شامگاه، و از ۱۰۸ درجه به ۹۰ درجه، در صبحگاه می‌رسد، محاسبه کرد. برای انجام این منظور می‌توان فرمولهای (۵ـ۶) و (۱۵ـ۶) را مورد استفاده قرار داد:

$$\cos h = \frac{\sin a}{\cos\delta\cos\varphi} - \tan\delta\tan\varphi$$

$$\cos h = -\tan\delta\tan\varphi$$

اگر $h'$، زاویه ساعتی انتهای بین‌الطلوعین در غروب و h زاویهٔ ساعتی غروب آفتاب باشد، می‌توان نوشت:

$$\sin a = \sin(۹۰^\circ - Z) = \cos Z = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos h'$$

$$\cos ۱۰۸^\circ = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos h' \qquad (۶\text{ـ}۲۰)$$

که زاویه ساعتیِ غروبِ آفتاب همان فرمول ذکر شدهٔ قبلی است:

$$\cos h = -\tan\delta\tan\varphi$$

از دو فرمول فوق می‌توان مقادیر h و $h'$ را برای مقادیر داده شدهٔ φ و δ محاسبه کرده، سپس طول بین‌الطلوعین در شامگاه را حساب کرد:

طول شفق $= h' - h$ (۲۱ـ۶)

**تقسیمات روز**[1]: طول یک روز به ۲۴ ساعت تقسیم شده است. روز نجومی از یک تا ۲۴ ساعت شماره‌گذاری می‌شود، در حالیکه روز عرفی[2] به‌دو قسمت ۱۲ ساعتی تقسیم می‌گردد و لذا اصطلاحات قبل از ظهر (A . M.)[3] و بعد از ظهر (P. M.)[4] بعلت همین

1. Division of the Day 2. Civil Day 3. Ante Meridian (Forenoon)
4. Post Meridian (Afternoon)

تقسیم‌بندی ۱۲ ساعته، بوجود آمده است. برای اجتناب از بکار بردن مفاهیم قبل و بعد از ظهر، روش تقسیم‌بندی ساعات روز عرفی از یک تا ۲۴ ساعت، در بسیاری از کشورها بکار گرفته شده است.

**هفته:** هفته، یک واحد زمانی تقویمهاست که تقریباً در همهٔ ممالک بکار گرفته می‌شود. شمارهٔ هفت، آن را به‌اهلهٔ قمر مرتبط می‌سازد، امّا در حقیقت یک واحد ساختگی[1] زمان است. قبلا فکر می‌شد که هفته در زمانهای پیشین در تمام دنیا معمول بوده، امّا در حقیقت، اقوام یهودی[2]، نخستین قومی بودند که هفته را مرسوم کردند، گرچه ممکن است آن را از اخترگویان کلدانی[3] گرفته باشند.

همچنین با توجه به کتاب اوّل **تورات** با نام **کتاب پیدایش، سفر تکوینی**[4]، دنیا در ۶ روز خلق شد و خالق جهان در روز هفتم به‌استراحت نشست. در دنیای مغرب زمین[5]، بکار بردن هفته به‌قرن سوم قبل از میلاد برمی‌گردد. در بسیاری از زبانها، اسامی هفت روز هفته از هفت جرم سماوی شناخته شده برای قدیمیان، ناشی شده است. این هفت جرم سماوی عبارتند از: خورشید، ماه، مریخ[6] (بهرام)، عطارد[7] (تیر)، مشتری[8] (برجیس)، زهره[9] (ناهید) و زحل[10] (کیوان).

**ماه:** در تقویم، یاگاهنامهٔ گرگوری[11]، گاهنامه‌ای که گرگوری سیزدهم آن را درست کرد و امروز هم متداول است، ماه، به هر یک از ۱۲ قسمت سال اطلاق می‌شود. هر یک از این قسمتها به‌ماه عرفی[12] یا ماه تقویمی[13] موسوم‌اند. از این ماهها، فوریه ۲۸ روز— درسالهای کبیسه[14] ۲۹ روز— سپتامبر، آوریل، ژوئن و نوامبر ۳۰ روز و ژانویه، مارس، مه، ژوئیه، اوت، اکتبر و دسامبر ۳۱ روز است.

درسال هجری شمسی متداول در ایران، ۱۲ ماه به‌ترتیب، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور هر کدام ۳۱ روز، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن هر کدام ۳۰ روز و اسفند ۲۹ روز— درسال کبیسه ۳۰ روز— است.

در نجوم، اصطلاح ماه، به‌دوره‌ای اطلاق می‌شود که اساس آن حرکت ماه باشد. یک ماه قمری[15]، مدت زمانی است که در آن، دورهٔ اهلهٔ ماه طی می‌شود. این دوره که براساس یک دور کامل اهلهٔ قمر است به‌نام ماه هلالی[16] نیز معروف است. طول

1. Artificial 2. Hebrews 3. Chaldean Astrologers 4. Genesis
5. Western World 6. Mars 7. Mercury 8. Jupitor 9. Venus
10. Saturn 11. Gregorian Calendar 12. Civil Month 13. Colendar Month
14. Leap Years 15. Lunar Month (Lunation)
16. Synodic Month

مدت یک ماه قمری، بطور متوسط ۲۹/۵ روز است. رصد ماه در تعداد زیادی از ماههای قمری متوالی، موجب شده است که طول متوسط یک ماه قمری دقیقاً تعیین گردد. طول مدت متوسط بدست آمده برای یک ماه قمری (۲۹/۵۳۰۵۹) روز عرفی و یا ۲۹ روز و ۱۲ ساعت و ۴۴ دقیقه و ۲/۷۸ ثانیه است. این طول مدت، در خیلی از تقویمها، بکار گرفته شده است. اندازهٔ یک ماه قمری نسبت به‌طول مدت متوسط آن، ممکن است تا ۱۳ ساعت تغییر کند.

چند نوع ماه دیگر وجود دارد، ازجمله ماه برجی[1]، ماه نجومی[2]، ماه آنومالیستیک[3]، و ماه گره‌ای.[4]

ماه برجی، ۲۷/۳۲۱۵۸ روز و متوسطِ زمانی است که طول ماه در آن ۳۶۰ درجه اضافه شود.

ماه نجومی ۲۷/۳۲۱۶۶ روز و متوسطِ زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه نسبت به‌یک امتداد ثابت در فضا بدست می‌آید.

ماه آنومالیستیک، ۲۷/۵۵۴۵۵ روز و متوسطِ زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه از نزدیکترین فاصلهٔ به‌زمین بدست می‌آید. ریشهٔ این اسم، لغت آنومالی[5] است که در نجوم به‌معنای فاصلهٔ زاویه‌ای یک سیاره از نقطهٔ حضیض آن است که از خورشید دیده شود.

ماه گره‌ای یا نادیکال، ۲۷/۲۱۲۲۲ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه از دایرةالبروج بطرف شمال بدست می‌آید. اصولا گره[6]، محل برخورد مدار یک سیاره با دایرةالبروج است و اسم این نوع ماه از همین تعریف ناشی شده است.

**سال:** سال واحدی از زمان است که به‌منظور برابر کردن طول مدت حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید، ایجاد شده است. پیش از سالهای ۴۰۰۰ قبل از میلاد، مصریان، طول سال را ۳۶۵ روز می‌دانستند. این مدت از شمارش روزها، بین دو طلوع دورگَرد[7] و پیاپی ستارهٔ شِعرای یمانی[8]، بدست آمده بود. ستارهٔ شِعرای یمانی (کاروان‌کش، شباهنگ)، پرنورترین ستارهٔ آسمان شب، و در صورت فلکی کلب اکبر[9] (سگ بزرگ) قرار دارد. طلوع و یا غروب دورگَرد یک ستاره و یا یک سیاره، عبارت از طلوع و یا غروب همزمان آن با خورشید است. دو طلوع پیاپی ستارهٔ شعرای یمانی درست

1. Tropical Month
2. Sidereal Month
3. Anomalistic Month
4. Nodical Month
5. Anomaly
6. Node
7. Helical Rising
8. Sirius (Dog Star)
9. Canis Major

قبل از طلوع آفتاب مبنای محاسبهٔ مصریان بود و بین دو طلوع دورگَرد، ۳۶۵ روز، بطول می‌انجامیده است که در سایر موارد، بعلت نزدیکی بیش از حد این ستاره به‌خورشید، قابل رؤیت نبوده است.

در بین منجمین، چند نوع سال مطرح است، از جمله، سال برجی[1]، سال نجومی[2] و سال آنومالیستیک[3].

**سال برجی:** سال برجی که به‌سال شمسی[4]، سال فصلی[5] و سال اعتدالی[6] نیز موسوم است، سالی است که تقویم گرگوری بر مبنای آن استوار است و آن عبارت از فاصلهٔ بین دو عبور پیاپی خورشید بر روی دایرةالبروج از نقطهٔ اعتدال بهاری است و تقریباً ۳۶۵/۲۴۲۲۰ روز و یا ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۴۶/۰۸ ثانیه، بطول می‌انجامد. قبل از سال ۱۹۶۷ و از سال ۱۹۵۶، سال شمسی، بعنوان تعریف واحد زمان، مرسوم در علوم فیزیک و مهندسی، یعنی ثانیه، بکار می‌رفت. در سال ۱۹۵۶، کمیتهٔ بین‌المللی اوزان و مقیاسات ثانیه را بعنوان کسر $\frac{۱}{۳۱،۵۵۶،۹۲۵/۹۷۴۷}$ از سال شمسی، که خاتمهٔ آن در سی‌ویکم دسامبر ۱۸۹۹ بوده است،—موسوم به‌صفرم ژانویه ۱۹۰۰[8] میلادی در متون نجومی—در ساعت ۱۲ به‌وقتِ تقویمی[9] (به‌وقتِ جدول نجومی)، تعیین کرد. علت تعیین یک تاریخ مشخص، بدان سبب بوده است که طول سال شمسی مطلقاً ثابت نیست.

طول سال شمسی تدریجاً و به‌آرامی کاهش می‌یابد، در حالیکه طول سالهای نجومی و آنومالیستیک کم کم و به‌آرامی، زیاد می‌شود. تغییر طول سال شمسی در یک قرن، کمتر از یک ثانیه است. از سال ۱۹۶۷، ثانیه، به‌منظور مطابقت با ساعت اتمی، دوباره تعریف شده است.

سال شمسی، مبنای تقویم معمول در ایران، به‌نام سال هجری شمسی نیز معروف است.

**سال نجومی:** سال نجومی متوسط یک دور کامل زمین به‌دور خورشید نسبت به‌ستارگان ثابت است. طول مدت آن ۳۶۵/۲۵۶۳۶ روز شمسی متوسط است. تفاوت آن با سال شمسی ۰/۰۱۴۱۶ روز و یا ۲۰ دقیقه و ۲۳/۴۲۴ ثانیه است. علت این اختلاف بدان سبب است که در سال شمسی، بعلت حرکت تقدیمیِ نقطهٔ اعتدال

1. Tropical Year 2. Sidereal Year 3. Anomalistic Year 4. Solar Year
5. Seasonal year 6. Equinoctial Year 7. International Commitee on Weights and Measures 8. January 0, 1900 9. Ephemeris Time

بهاری به‌میزان ۵۰/۲۲ ثانیه و یا ۰/۰۱۴ درجه به‌سمت مغرب، خورشید یک دور کامل را نمی‌پیماید و بلکه (۰/۰۱۴-۳۶۰) درجه را طی می‌کند. بنابراین حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرةالبروج به‌سمت مشرق، به‌میزان یک درجه

$$\frac{۳۶۵/۲۴۲۲۰}{۳۶۰-۰/۰۱۴}=۱/۰۱۴۵۹۹ \text{ روز}$$

بطول می‌انجامد؛ بعبارت دیگر، خورشید، یک درجه را در اندکی بیش از یک روز طی می‌کند. در نتیجه، معادل روزِ حرکت تقدیمی خورشید خواهد شد:

$$۰/۰۱۴\times۱/۰۱۴۵۹۹=۰/۰۱۴۱۶ \text{ روز}$$

یعنی سال شمسی ۰/۰۱۴۱۶ روز از سال نجومی کمتر است که همان عدد مذکور در فوق است.

رابطهٔ بین سال نجومی و شمسی بصورت زیر است:

$$\frac{\text{سال نجومی}}{۳۶۰^\circ}=\frac{\text{سال شمسی}}{۳۶۰^\circ-۵۰''/۲۲} \qquad (۶-۲۲)$$

چنانکه قبلا گفته شد، در یک سال شمسی ۳۶۵/۲۴۲۲ روز شمسی متوسط و در یک سال نجومی ۳۶۵/۲۵۶۳۶ روز شمسی متوسط وجود دارد. در مثال بعدی تعداد روزهای نجومی در یک سال شمسی را محاسبه می‌کنیم:

**مثال (۴-۶)**—سال شمسی از چند روز نجومی تشکیل شده است؟

**راه حل**—تعداد ساعات شمسی متوسط[1] در یک روز شمسی متوسط ۲۴ ساعت است، پس تعداد ساعات شمسی متوسط در یکسال شمسی، خواهد شد:

$$۳۶۵/۲۴۲۲\times۲۴=۸۷۶۵/۸۱۲۸ \text{ ساعت شمسی متوسط}$$

چنانکه طول یک روز نجومی را ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹۰۵۴ ثانیه و یا ۲۳/۹۳۴۴۶۹ ساعت بگیریم، تعداد روزهای نجومی در سال شمسی خواهد شد:

$$\frac{۸۷۶۵/۸۱۲۸}{۲۳/۹۳۴۴۶۹}=۳۶۶/۲۴۲۲ \text{ روز نجومی}$$

**سال نوری**[2]: سال نوری یک واحد زمانی نیست و برای بیان فاصلهٔ اجرام سماوی بکار گرفته می‌شود، و آن عبارت از مسافتی است که نور در یکسال نجومی می‌پیماید و برابر $۵/۸۷۹\times۱۰$ مایل است.

**سال آنومالیستیک**: سال آنومالیستیک متوسط فاصلهٔ زمانی دو عبور پیاپی زمین

1. Mean Solar Hour 2. Light Year

از نزدیکترین فاصله‌اش تا خورشید است و طول آن ۳۶۵/۲۵۹۶۴ روز شمسی متوسط، می‌باشد.

**انواع تقویم:** سه نوعِ اساسیِ تقویم توسط بشر وضع شده است. این سه تقویم عبارتند از تقویم قمری[1]، تقویم شمسی[2]، و تقویم قمری شمسی[3] که براساس اهلهٔ قمر و حرکت سالیانه ظاهری خورشید استوارند.

**تقویم قمری:** قدیمترین نوع تقویم و متداولترین آن در قدیم، تقویم قمری است. در این تقویم ماه عرفی[4] تقریباً همان ماه قمری[5] واقعی، و اولین روز هر ماه عرفی تقریباً روزی است که ماه نو، حادث می‌شود. یک شخص بیسواد که قادر به‌خواندن تقویم نباشد، بسادگی از روی اهلهٔ قمر می‌تواند با تقریب خوبی تاریخ روز در ماه را بداند. در تقویم قمری سال شمسی ملاک عمل نیست.

برای اینکه طول ماههای قمری عدد صحیح باشد و مطابقتی بین ماهها بوجود آید، یک راه حل قدیمی این بود که ماههای قمری عرفی را، بجای ۲۹/۵۳۰۶ روز، یک در میان ۲۹ و ۳۰ روز بگیرند. بدینترتیب طول متوسط ماه قمری ۲۹/۵ روز می‌شد و این، بمقدار ۰/۰۳۰۶ روز از طول متوسط ماه قمری کمتر بود. بعدها تقویم قمری عموماً به‌۱۲ ماه قمری در یکسال قمری ۳۵۴ روزه، تبدیل شد و بدینترتیب، سال قمری باندازهٔ (روز ۰/۳۶۷۲ = ۰/۰۳۰۶ × ۱۲) از دورهٔ اهلهٔ قمر عقب می‌ماند.

یک راه نسبتاً دقیق برای جبران این اختلاف، اضافه کردن یک روز به‌تقویم در هر دورهٔ سه ساله بود. راه‌حلهای مشابه، درمیان افزودن[6] سه روز به‌تقویم، در هر هشت سال، یا هفت روز در هر نوزده سال، و یا یازده روز در هر سی سال بوده است. تمام این راه‌حلها بکار گرفته شده‌اند و آخرین آنها یعنی در میان افزودن یازده روز در هر ۳۰ سال، در بین مسلمانان رواج دارد. انتخاب سال معین برای افزودن روزها در تقویم، تقریباً اتفاقی بوده و روزها معمولاً به‌آخرین ماه کوتاه سال اضافه می‌شده که بتوان بسادگی آن را بخاطر آورد.

تقویم اسلامی یکی از تقویمهای قدیمی است که دارای ۱۲ ماه قمری ۲۹ یا ۳۰ روزه بوده و هیچ ماهی بعنوان میان افزون به‌آن اضافه نمی‌شود و کوششی برای انطباق آن با سال شمسی صورت نمی‌گیرد. در نتیجه تعطیلات مختلف در طی یک دورهٔ ۳۳ ساله، در تمام فصول گردش می‌کند. برای انطباق آن با طول واقعی ماههای قمری، هر

1. Lunar Calendar 2. Solar Calendar 3. Lunisolar Calendar
4. Civil Month 5. Lunar Month 6. Intercalate

سی سال یازده روز به‌آن اضافه می‌شود. در نتیجه، این تقویم دارای یک دورهٔ تقویمی ۳۰ ساله[1] است. در این تقویم ۱۹ سالِ ۳۵۴ روزه و یازده سال در میان افزوده[2] وجود دارد؛ بدینترتیب که سالهای دوّم، پنجم، هفتم، دهم، سیزدهم، شانزدهم، هیجدهم، بیست‌ویکم، بیست‌وچهارم، بیست‌وششم، و بیست‌ونهم، از دورهٔ سی ساله، سالهای میان افزوده هستند. این دورهٔ ثابت سی سالهٔ سال قمری دارای ۳۶۰ ماه و یا ۱۰،۶۳۱/— روز است و هر ۲۵۰۰ سال یک روز خطا دارد.

این تقویم ثابت در مسایل مذهبی توسط مسلمین بکار گرفته نمی‌شود. ماه مذهبی[3] زمانی آغاز می‌شود که هلال ماه نو[4] پدیدار می‌گردد. این رویداد تقریباً دو روز بعد از حدوث ماه نو[5] (محاق)، با توجه به‌تقویم ثابت، اتفاق می‌افتد. مسلمین معمولا اسم روز را به‌همراه تاریخ آن ذکر می‌کنند و مسئلهٔ عدم انطباق ماه مذهبی و ماه عرفی مشکلی را ایجاد نمی‌کند. روز مذهبی مسلمین در غروب روز قبل از روز عرفی آن شروع می‌شود. سالهای قمری مسلمین از هجرت حضرت محمد(ص) از مکهٔ معظمه به‌مدینه، در روز جمعهٔ شانزدهم ژوئیه ۶۲۲ میلادی آغاز می‌شود.

**تقویم قمری شمسی:** زمانی که طول مدت یک سال شمسی در ۳۶۵/۲۵ روز معلوم شد، جستجو برای یک ارتباط دقیق بین سال شمسی و ماههای قمری آغاز گشت. مسئله این بود که چگونه، با بهترین روش، بین سال قمری — که تقریباً ۱۱ روز از سال شمسی کوتاهتر است — و سال شمسی، رابطه ایجاد شود.

یکی از اولین راه‌حلها، اضافه کردن یک ماه به‌سال قمری در هر دورهٔ سه ساله بود. راه حل دیگر برای ایجاد برابری اضافه کردن ۳ ماه به‌۸ سال قمری و یا ۷ ماه به‌۱۹ سال قمری است که این تعدیل، به‌ترتیب برابر یک دورهٔ ۸ ساله و یا ۱۹ سالهٔ سال شمسی است. دورهٔ ۱۹ساله، به‌دورهٔ متونیک[6] موسوم است که اسم آن از نام منجم یونانی، مِتوُن[7] (۴۳۳ قبل از میلاد)، گرفته شده است. مِتون کشف کرد که در هر دورهٔ ۱۹ سالهٔ شمسی، ۲۳۵ ماه قمری[8] وجود دارد. هر دو دورهٔ ۸ ساله[9] و دورهٔ متونیک، توسط یونانیان، بکار گرفته شده است. دورهٔ ۱۹ سالهٔ متونیک تا حدی دقیق است و هنوز در محاسبات تقویم کلیسایی[10] بکار گرفته می‌شود.

**تقویم شمسی:** در حال حاضر تقویم قمری در بین بسیاری از ممالک رواج ندارد.

1. A Period of 30 Calendar Year 2. Intercalary Year 3. Religious Month
4. The Crescent of the New Moon 5. New moon 6. Metonic
7. Meton 8. Lunation 9. Octennial 10. Ecclesiastical Calendar

به‌منظور انطباق بیشتر ماههای عرفی[1] و سال شمسی، کاربرد سال قمری مورد توجه قرار نمی‌گیرد. تعداد ماهها، بهمان ۱۲ ماه در سال محدود شده، امّا دیگر، ماهها قمری نیستند و فازهای ماه در هر روزی از ماه عرفی ممکن است اتفاق افتد. فقط طول ۳۶۵/۲۴۲۲ روز بعنوان طول متوسط سال شمسی، مبنای کار تقویم شمسی است. جزء ۰/۲۴۲۲ تقریباً نزدیک به کسر ۰/۲۵ است. بنابراین سال ۳۶۵ روزهٔ شمسی بکار می‌رود و هر چهار سال یک روز بعنوان جبران جزء ۰/۲۵ (۱ = ۰/۲۵ × ۴) به‌سال اضافه می‌گردد. سالی که یک روز به‌آن اضافه می‌شود به‌سال کبیسه[2] موسوم است. این راه‌حل، همان راه‌حلی است که در تقویم جولیوسی[3] بکار گرفته شده است؛ شرح تقویم جولیوسی بعداً خواهد آمد. این تقویم را ژولیوس سزار[4] درست کرد و پاپ گرگوری ۱۳[5] اصلاحاتی در آن بعمل آورد و تا امروز درمیان اروپائیان معمول و به‌نام تقویم گرگوری شناخته شده است. اما چون کسری که می‌بایست جبران شود ۰/۲۴۲۲ است و نه ۰/۲۵، لذا افزودن یک روز در هر چهارسال، باندازهٔ تفاوت ۰/۲۵ و ۰/۲۴۲۲ یعنی ۰/۰۰۷۸ روز درسال و یا درحدود ۳ روز در هر چهار قرن، اضافه می‌آید.

**تقویم جولیوسی:** قبل از اصلاح تقویم جولیوسی، رومیان قدیم، ماه قمری را در تقویم بکار می‌بردند. طول ماهها بین ۳۰ و ۲۹ روز تغییر می‌کرد. طول سال عرفی[6] فقط ده ماه بود و سال از ۳۹۵ روز تشکیل می‌شد. ماه اوّل سال، مارس[7] و ماههای هفتم، هشتم، نهم و دهم به‌ترتیب به‌نامهای سپتامبر[8]، اکتبر[9]، نوامبر[10] و دسامبر[11] نامیده می‌شدند. این اسامی، از ریشهٔ لاتینی آنها به‌معنای ترتیب قرارگیری ماهها، گرفته شده است.

مطابق افسانه‌ها، در زمان سلطنت نوماپومپیلیوس[12] (۷۰۰قبل از میلاد)، ماههای فوریه[13] و ژانویه[14] بعنوان ماههای یازدهم و دوازدهم به‌سال اضافه شده‌اند. بعدها در تاریخ روم، ماه قمری منسوخ شد و ماههای دوم، چهارم، هفتم و نهم هر کدام ۳۰ روز و بقیه، بجز ماه فوریه، ۳۱ روز بحساب آمد. امپراطوران روم مجاز بودند که به‌میل خود تقویم را تغییر دهند. تغییرات تقویم وسیله‌ای برای کوتاه و یا بلندتر ساختن دوره‌های حکومتی و قضایی بود. نهایتاً، حساب روزها در روم به‌وضع بسیار نامنظمی درآمد.

1. Civil Months  2. Leap Year  Julian Calendar  4. Julius Caesar
5. Pope Gregory XIII  6. Civil Year  7. March  8. September
9. October  10. November  11. December  12. Numa Pompilius
13. February  14. January

اصلاح تقویم رومیان توسط ژولیوس‌سزار عملی شد. او منجم یونانی به‌نام سوسی‌جنز[1] را بعنوان مشاور بکار گرفت. تقویم در سال ۴۶ قبل از میلاد تغییر پیدا کرد که به‌نام سال پایانی درهم‌برهمی[2] نامیده شد. اوّل همه، تصمیم گرفته شد که اعتدال بهاری روز ۲۵ ماه مارس باشد، و برای این منظور ۸۵روز به‌سال ۴۶ قبل از میلاد اضافه شد. طول سال در ۳۶۵روز ثابت قرار داده شد، گرچه آنها می‌دانستند که سال شمسی ۳۶۵/۲۵روز بطول می‌انجامد و همچنین می‌دانستند که با اضافه کردن هرچهارسال یک‌روز، سال با حدوث فصول تطبیق پیدا می‌کرد. یک‌روزی که به‌آخر ماه فوریه، اضافه می‌شد مطابق آنچه که امروز صورت می‌گیرد، انجام نمی‌گشت، بلکه بعد از بیست‌وچهارم فوریه اضافه می‌گردید.

در اصلاح جولیوسی، روز اوّل ژانویه، بعنوان شروع کار کنسولها[3] در روز اوّل سال تعیین گردید. بنابراین روز اوّل ژانویهٔ سال ۴۵ قبل از میلاد، شروع تقویم جولیوسی است.

سالهای جولیوسی با طول ۳۶۵ روز و شش‌ساعت، در حقیقت از سال شمسی با طول ۳۶۵/۲۴۲۲روز بلندتر است. تفاوت به‌۰/۰۰۷۸روز در سال و یا در حدود ۳روز در هر چهارقرن می‌رسد. بنابراین حالا واضح است که در اولین شورای جهانی کلیسایی[4] که در سال ۳۲۵بعد از میلاد در شهر نیکائیه[5] در آسیای صغیر[6] برگزار شد، تقویم جولیوسی می‌بایست تقریباً به‌مدت سه‌روز عقب افتاده باشد.—درحالیکه عقب افتادن واقعی تقویم جولیوسی چهار روز بود و این نشانهٔ آن می‌تواند باشد که‌سوسی‌جنز در سال ۴۶ قبل از میلاد به‌مدت یک‌روز در تعیین اعتدال بهاری اشتباه کرده باشد—، از آنجائیکه طول واقعی سال شمسی هنوز شناخته نشده بود، لذا شورای مذکور، کلیهٔ چهار روز عقب افتادن تاریخ جولیوسی را ناشی از اشتباه سوسی‌جنز دانست (بجای یک‌روز) و وقتی که تاریخ اعتدال بهاری را از ۲۵مارس به‌۲۱ماه مارس برگرداند، معتقد بودند که این تاریخ برای همیشه ثابت خواهد ماند و عید پاک[7] مسیح (برابر عیدفطر یا عیدفصح یهود که مسیحیان این عید را به‌یادبود برخاستن‌حضرت‌عیسی(ع) ازمردگان جشن می‌گیرند) بر مبنای ۲۱ ماه مارس تعیین شد.

**تقویم گرگوری[8]:** با توضیحات فوق، تقویم جولیوسی با مرور زمان دچار اشتباه

1. Sosigenes 2. The Last Year of Confusion 3. Consuls
4. The First Ecumenical Council 5. Nicaea (Nice) 6. Asia Minor
7. Easter 8. Gregorian Calendar

شد، بدینترتیب که عید پاک، که یک‌عید بهاری است، نهایتاً می‌توانست به‌وسط تابستان بیفتد. در زمان پاپ گرگوری ۱۳، در اواخر قرن ۱۶میلادی، میزان اختلاف تقویم جولیوسی به‌ده روز بالغ شد؛ اعتدال بهاری سال ۱۵۸۲ به‌یازدهم مارس افتاد، چه، چنانکه ذکر شد، طول سال شمسی کمتر از ۳۶۵/۲۵ روز بود.

در این زمان طول واقعی سال شمسی شناخته شد و پاپ گرگوری در مطابقت با آن، تقویم را اصلاح کرد. او ده روز از سال ۱۵۸۲ میلادی کم کرد، تا اینکه از سال بعد، اعتدال بهاری دوباره به‌۲۱ مارس بیفتد. روز بعد از پنجشنبه چهارم اکتبر، ۱۵۸۲ به‌جمعه پانزدهم اکتبر تبدیل شد (تداوم روزها تغییر داده نشد و روز جمعه بجای خود باقی ماند). با این تغییر، تقویم جولیوسی که تغییر نکرده بود، مرتباً با تقویم گرگوری اختلاف بیشتری پیدا می‌کرد. گرگوری برای رفع اختلاف بین سال شمسی و تقویم جولیوسی، قانونی وضع کرد که هر چهارصد سال سه روز از سال کم گردد. برای این کار، چنین وضع شد که سالهایی که شمارهٔ آنها به‌دو صفر ختم می‌شود، سال کبیسه بحساب نیایند مگر آنکه دو عدد سمت چپ آنها بر عدد چهار قابل تقسیم باشد. بنابراین در تقویم قدیمی جولیوسی سالهای ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۸۰۰، ۱۹۰۰، ۲،۰۰۰، الی‌آخر، می‌بایست معادل سال کبیسه باشند، اما در تقویم گرگوری سالهای ۱۷۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۹۰۰ سال کبیسه نیست ولی سال ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ سال کبیسه است. بدینترتیب حذف سه روز در هر چهارصد سال ساده می‌شود.

یک نابرابری دیگر باقی می‌ماند، که سال گرگوری بدینترتیب ۳۶۵/۲۴۲۵ روز می‌شود و بنابراین باندازهٔ ۰/۰۰۰۳ روز از سال شمسی بلندتر است. این اضافه، در هر ده‌هزار سال به‌سه روز بالغ می‌گردد. امّا در چنین مدت درازی، عوامل دیگری وارد می‌شوند. طول سال شمسی که در اینجا دقیقاً ۳۶۵/۲۴۲۲ روز گرفته شده دارای تغییرات بسیار کندی است و طول آن تغییر می‌کند. قانون مربوط به‌این تغییر کاملا شناخته شده نیست. بعلاوه حرکت وضعی زمین به‌دور محور چرخشی آن، دستخوش تغییرات است که بعضی از آنها قابل پیش‌بینی است. بنابراین بی‌فایده است اگر به‌فکر میزان تغییر تقویم گرگوری در ۳۰۰۰ الی ۴۰۰۰ سال بعد بیفتیم، چه، ممکن است عوامل دیگری با اثرات بیشتر در این فاصله، درنتیجه، اثر بگذارند.

تمام کشورها بلافاصله اصلاحات گرگوری را بکار نبستند. فرانسه و هلند در دسامبر ۱۵۸۲ آن را بکار گرفتند، ایالت کاتولیک آلمان در سال ۱۵۸۴ و لهستان در ۱۵۸۶ آنرا قبول کردند.

ایالت پرتستان آلمان و کشور سویس در سال ۱۷۰۰ میلادی، و انگلستان و مستعمره‌هایش و کشور سوئد آنرا در سال ۱۷۵۲ قبول کردند. در این وقت بجای ده روز، می‌بایست یازده روز از تاریخ کم می‌شد. بالاخره کشورهای ارتدکس[1]، تقویم قدیمی جولیوسی را تا قرن بیستم نگاه داشتند، که در این ایام میزان اختلاف به ۱۳ روز رسید. بدینترتیب لازم بود تاریخ بصورتِ ۱۰/۲۳، ۱۹۲۰ نوشته شود، که عدد ۱۰ تقویم قبلی و عدد ۲۳ تقویم جدید است. در حال حاضر کلیهٔ کشورها، تقویم گرگوری را حداقل برای منظور رسمی، قبول کرده‌اند. لذا می‌توان تقویم گرگوری را بعنوان یک تقویم جهانی منظور داشت، که ایجاد اتحاد در تقویم جهانی، حدود چهار قرن بطول انجامید.

متأسفانه در این بخش راجع به‌تقویم ایرانی و تاریخچهٔ آن مطلبی نیامده است و خوانندگان ارجمند می‌توانند برای جبران این نقیصه به کتابهای مربوطه مراجعه کنند.

## ۵۵. فازها و حالات ماه[2]

نور ماه از تابش نور خورشید به‌سطح آن، ناشی شده است. یک طرف ماه همیشه روشن است و ما، وقتی قادر به‌مشاهدهٔ تمام نیمکرهٔ روشن آن هستیم که خورشید و زمین و ماه تقریباً بر یک امتداد قرار گرفته باشند.

فاز، در نجوم، به‌تغییرشکل ماه در آسمان، بصورتیکه به‌نظر ما می‌رسد، اطلاق می‌شود. همچنین این اصطلاح درمورد سیارهٔ مریخ و سیاره‌های درونی[3] نیز بکار می‌رود. تغییرشکل قسمت روشن ماه وسیاره‌ها بعلت تغییر زاویهٔ موجود بین امتداد تابش نور خورشید به‌آنها و امتداد دید ناظر، صورت می‌پذیرد. بنابراین درفازهای مختلف، مقدار نور منعکس شدهٔ خورشید ازسطح ماه و یا یک سیاره به‌سطح زمین تغییر می‌کند.

بعلت حرکت مداری ماه به‌دور زمین، ماه نسبت به‌ستارگان آسمان سریعتر از خورشید بسوی مشرق در حال حرکت است. وقتی که ماه، درست بین زمین و خورشید قرار می‌گیرد، فقط قسمت بیرونی و دورتر آن نسبت به‌زمین، توسط نور خورشید روشن می‌شود و قسمت تاریک آن، به‌طرف زمین است و ماه قابل رؤیت نمی‌باشد. این فاز ماه، به‌نام ماه نو (محاق)[4]، نامیده می‌شود. در این حالت فقط ماه در وقت کسوف قابل

1. Orthodox Countries 2. Phase and Aspects of Moon 3. Inner Planets
4. New Moon

رؤیت است. در مرحلهٔ ماه نو، ماه نسبت به‌زمین و خورشید در حالت مقارنه[1] است. حتی در حالت ماه نو، می‌بایست یک هلال بسیار باریک از ماه، قابل رؤیت باشد، امّا عملا با چشم، دیده نمی‌شود تا اینکه ماه ۱۸ ساعته گردد. بعد از ماه نو با ادامهٔ حرکت مداری ماه، بطرف مشرق و به‌دور زمین، زاویهٔ بین خط واصل بین ماه و زمین و امتداد نور خورشید اضافه می‌شود. چند شب بعداز ماه نو، لبهٔ نیمهٔ روشن ماه، مانند هلال باریکی، پس از غروب آفتاب، مدتی کوتاه، بچشم می‌خورد. در این مرحله، قسمت برآمدهٔ هلال بجانب مغرب قرار می‌گیرد که به‌هلال ماه نو[2] موسوم است، اگرچه، اصطلاحاً به‌این مرحله هم ماه نو گفته می‌شود.

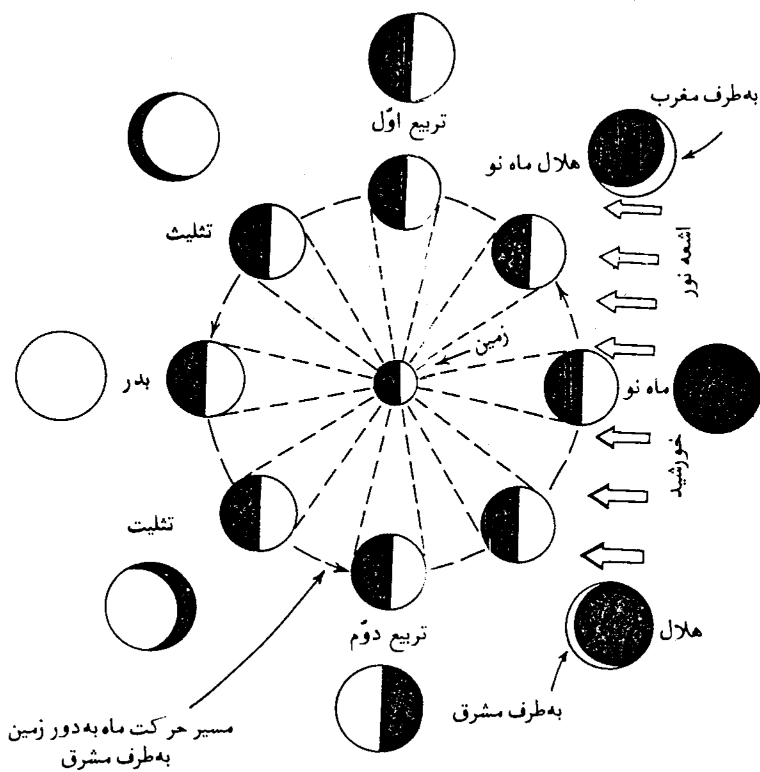
لبهٔ خارجی و یا لبهٔ محدب این هلال که همیشه، بطرف خورشید قرار دارد حاشیهٔ خارجی[3]، نامیده می‌شود. لبهٔ داخلی و یا لبهٔ مقعر آن، خط مرزی بین روشنی و تاریکی قرص ماه[4] نامیده می‌شود. شکل حاشیهٔ خارجی، همیشه ثابت است و فقط به‌محیط آن افزوده می‌شود، امّا شکل لبهٔ مقعر، دائماً با گذشت روزهای ماه تغییر می‌کند. دو نوک تیز لبه‌ها که همیشه بدور از خورشید قرار می‌گیرد، تیزی دو سر هلال[5]، نامیده می‌شود. حرکت روزانهٔ ماه، موجب افزایش زاویهٔ بین خط واصل بین اشعهٔ خورشید و خط واصل بین زمین و ماه می‌شود. در نتیجه، با گذشت روزهای ماه، بعد از حدوث ماه نو، میزان بیشتری از قسمت شرقی قرص ماه روشن شده و اندازهٔ هلال بزرگتر می‌شود. در حدود یک‌هفته بعد ازماه نو، ماه در یک‌چهارم مسیر خود به‌دور زمین، نصف قرص‌آن روشن می‌گردد که آن را تربیع اوّل[6] می‌نامند و ماه، در این مرحله در حالت تربیع[7] است. در این وضعیت زاویهٔ بین امتداد اشعهٔ خورشید و خط واصل بین ناظرِ زمینی و ماه ۹۰ درجه و یا بعبارت دیگر فاصلهٔ زاویه‌ای ماه از خورشید ۹۰ درجه است.

با ادامهٔ حرکت ماه، میزان فاصلهٔ زاویه‌ای ماه از خورشید افزون گشته و بیش از نصف قرص ماه روشن می‌شود که تثلیث[8] نام دارد. در این مرحله فاصلهٔ زاویه‌ای ماه از خورشید ۱۲۰ درجه است. اصطلاح انگلیسیِ معادلِ تثلیث، از لغتی ایتالیایی[9] گرفته شده و به‌معنای کوژپشت[10] است.

هنگامیکه ماه به‌نقطهٔ مقابل زمین نسبت به‌خورشید می‌رسد؛ و یا بعبارت دیگر

1. Aspect of Conjunction 2. The Crescent after New (Waxing Crescent)
3. Limb 4. Terminator 5. Cusps 6. First Quarter
7. Aspect of Quadrature 8. Gibbous 9. Gibboso 10. Hunch Backed

فاصلهٔ زاویه‌ای ماه و خورشید ۱۸۰ درجه می‌گردد، تمام قرص ماه، روشن بنظر می‌رسد که بدر[۱] نامیده می‌شود و ماه در این موقعیت، در حالت مقابله[۲] است. این مرحلهٔ ماه در حدود نیمهٔ ماه بعد از حدوث ماه نو، حاصل می‌شود البته در این موقع، ماه که درست مقابل خورشید نسبت به‌زمین قرار می‌گیرد، اگر بر روی دایرةالبروج هم قرار داشته باشد، ماه‌گرفتگی صورت می‌پذیرد. بعد از این مرحله، قسمت شرقی قرص ماه (بجای قسمت غربی آن) توسط اشعهٔ نور خورشید روشن می‌شود و فازهای ماه، با ترتیب برعکس، ازتثلیث تا تربیع آخر[۳] و سپس تا هلال[۴] و بالاخره تا ماه نور تکرار می‌شود، شکل (۳۹-۶).




**شکل (۳۹-۶)—فازها و حالات ماه. نصف کرهٔ ماه گرچه همیشه روشن است اما با طی مسیر مربوط، به‌دور زمین، به‌صورتهای مختلف دیده می‌شود. در دایرهٔ خارجی شکل، فازهای ماه به‌شکلی که از زمین مشاهدهٔ می‌شود، نمایانده شده است.**

1. Full Moon 2. Aspect of Opposition 3. Last Quarter 4. Cerscent before New

در شرایط مناسب اتمسفری، قسمت تاریک قرص ماه، بصورت خیلی ضعیف قابل رؤیت است. قابل رؤیت بودن قسمت تاریک ماه، بسبب بازتاب نور خورشید از سطح کرهٔ زمین به‌سطح ماه است.

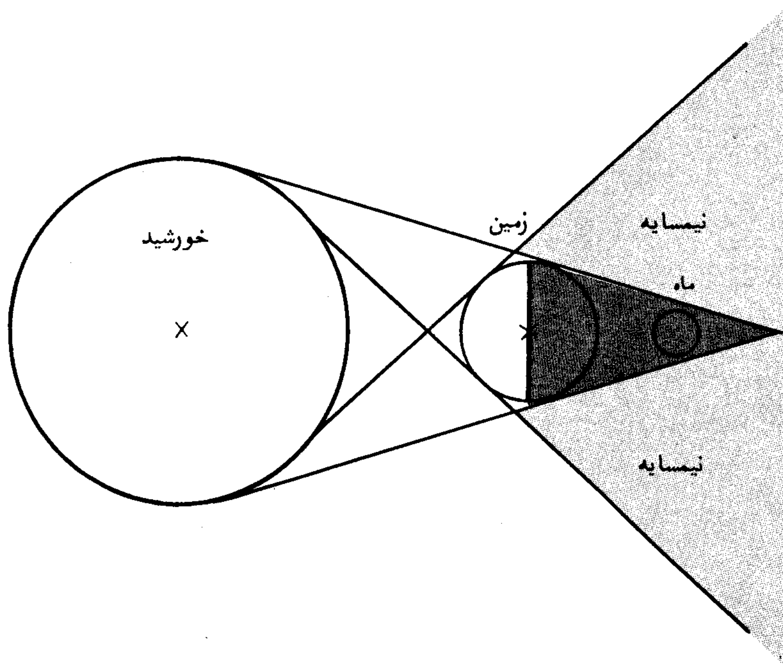
عطارد (تیر) و زهره (ناهید) مانند ماه، دارای فازهای مختلف‌اند. مریخ (بهرام) دارای فازهای از بدر تا تثلیث است. سیاره‌های دورتر، بعلت بعد فاصله از زمین و خورشید، دارای تغییر فاز نیستند، چه، فاصلهٔ زاویه‌ای آنها از خورشید، تقریباً ثابت است.

## ۵۶. گرفت[1]

گرفت و یا گرفتگی یک جرم سماوی، عبور آن از سایهٔ جرم سماوی دیگر است. چنانکه به‌جسمی غیرشفاف[2] و غیرنورانی[3]، از طرف خارج آن، نور تابانده شود، در جهت مقابل امتداد نور تابیده شده، سایه ایجاد می‌شود. قسمت داخلی منطقهٔ سایه که تاریکتر است به‌نام تمام سایه[4]، و قسمت روشنتر و خارجی سایه به‌نام نیم‌سایه[5] شناخته می‌شوند. در منظومهٔ شمسی، تمام سیاره‌ها و قمرها، اجرام غیرشفاف‌اند و نور خود را از خورشید می‌گیرند و در نتیجه، در فضا سایه‌های بزرگی ایجاد می‌کنند. برای مثال: چنانکه سایهٔ زمین بر روی ماه بیفتد، ماه از دریافت نور خورشید محروم می‌شود که اصطلاحاً می‌گویند ماه گرفته، و پدیده را، ماه‌گرفتگی[6] (خسوف) نامند. بعلت کروی‌ـ شکل بودن سیاره‌ها، تمام سایهٔ ایجاد شده توسط آنها، به‌شکل مخروط است. مطابق شکل (۴۰ـ۶)، مماسهای خارجی، تشکیل مخروط تمام سایه[7] و مماسهای داخلی، تشکیل مخروط نیمسایه[8] را می‌دهندومحور سایه، خطی است که مرکزجسم نوردهنده ونور گیرنده را به‌همدیگر وصل می‌کند. خورشید گرفتگی[9] (کسوف) وقتی اتفاق می‌افتد که سایهٔ ماه بر روی زمین بیفتد و مانع از رسیدن نور خورشید به‌قسمتی از سطح زمین گردد.

در مقایسه با فواصل نجومی، خورشید و ماه در فاصلهٔ کمی نسبت به‌زمین قرار دارند و به‌همین دلیل در پهنهٔ آسمان، به‌شکل قرصهای دایره‌ای دیده می‌شوند. لذا گرفتگی ماه و خورشید بصورت پدیده‌های شگفت‌آور طبیعی، نمایان می‌گردد و معمولا

1. Eclipse 2. Opaque 3. Non-Luminous 4. Umbra 5. Penumbra
6. Lunar Eclipse 7. The Cone of Umbra
8. The Cone of Penumbra 9. Solar Eclipse




شکل (۴۰ـ۶) —سایه و نیمسایهٔ ایجاد شده توسط زمین در اثر تابش نور خورشید به‌آن.

اصطلاح گرفتگی، به‌گرفتگی ماه و خورشید اطلاق می‌شود.

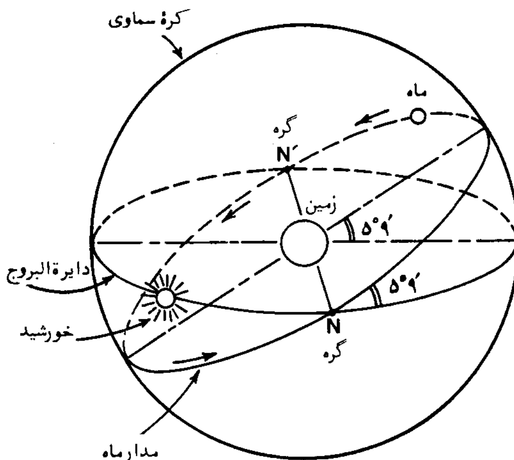
اجرام دیگر سماوی نیز دارای گرفتگی هستند. سایر سیارات منظومهٔ شمسی، برخی مواقع از پشت خورشید عبور می‌کنند. عطارد (تیر) و زهره (ناهید) گاهی از جلو خورشید می‌گذرند، چه، مدار آنها داخل مدار زمین قرار دارد. به‌همین ترتیب تعدادی از سیاره‌ها دارای قمر هستند که گاهی از جلو آنها عبور کرده و توسط سیاره‌های خود گرفته می‌شوند. ماه در حین عبور از آسمان، موجب گرفتگی تعداد زیادی از ستارگان می‌شود. در تمام این موارد، لغت گرفتگی معمولا بکار نمی‌رود زیرا ابعاد ظاهری اجرام سماوی مورد نظر، قابل مقایسه نیستند و با هم خیلی تفاوت دارند. بجای آن، درمورد عبور یک جرم سماوی از مقابل یک جرم سماوی بزرگتر، اصطلاح عبور[1]، و درمورد گرفتگی یک جرم سماوی کوچکتر توسط یک جرم بزرگتر و یا نزدیکتر، اصطلاح استتار[2] و یا ناپدید شدن موقتی یک ستاره، بکار برده می‌شود.

در رابطه با گرفتگی اجرام سماوی، باید توضیح داده شود که در خارج منظومهٔ

1. Transit 2. Occulation

شمسی وقتی که یک مجموعهٔ ستارهٔ دوتایی[1] در امتداد نزدیک لبهٔ صفحهٔ مدار آن، از زمین قابل رؤیت‌اند، دو ستارهٔ تشکیل دهندهٔ مجموعه، ممکن است موجب گرفتگی[2] و یا استتار[3] یکدیگر شوند. این گونه ستارگان دوتایی را ستارگان دوتایی در حال گرفت[4] می‌نامند.

برای آنکه گرفتگی ماه و یا گرفتگی خورشید، پیش آید، لازم است که ماه، خورشید، و زمین هر سه در یک صفحه، قرار گیرند. درمورد گرفتگی خورشید، باید مخروط سایه و یا مخروط تمام سایهٔ ماه بر روی زمین بیفتد. در گرفتگی ماه، مخروط تمام‌سایهٔ زمین، باید ماه را دربرگیرد. اگر سه جرم سماوی، ماه، خورشید و زمین، همیشه در یک سطح قرار داشتند، گرفتگی خورشید در تمام فازهای ماه نو اتفاق می‌افتاد و ماهِ گرفتگی، در همهٔ فازهای بدرماه، صورت می‌گرفت. البته این مطلب با آنچه که در عمل اتفاق می‌افتد، مطابق نیست. چه، مدار حرکت ماه به‌دور زمین در حدود ۵ درجه و ۹ دقیقه نسبت به‌سطح دایرةالبروج (سطح مدار زمین) متمایل است. در نتیجه، خورشید و ماه گرفتگی فقط وقتی وقوع می‌یابد که ماه نو و یا ماه بدر، در یکی از دو گره[5] قرار گیرد، شکل (۴۱-۶). — دو نقطهٔ برخورد مدارهای زمین و ماه را گره می‌نامند — در شکل گره‌های ماه در نقطهٔ N نشان داده شده است. محل این گره‌ها در طی ۱۸/۶ سال،




**شکل (۴۱-۶) — گره‌های مدار ماه. خورشید و یا ماه‌گرفتگی زمانی اتفاق می‌افتد که ماه نو و یا ماه بدر، در یکی از این گره‌ها قرار گیرند.**

1. Binary Star System 2. Eclipse 3 Occult 4. Eclipsing Binaries
5. Nodes

یک گردش کامل به‌دور زمین دارند.

اگر محل گره‌های ماه، ثابت بود، خورشید و ماه‌گرفتگی در فواصل زمانی معین اتفاق می‌افتاد، امّا حرکت ماه تحت تأثیر سایر اجرام سماوی تا حدی مختل[1] شده و از مدار خود منحرف می‌گردد. در نتیجه، مدار ماه، حرکتی دورانی[2] شکل دارد. بدین‌ترتیب که خط عمود بر صفحهٔ مدار حرکت ماه به‌دور زمین، یک مخروط را در مدت ۱۸/۶ سال به‌دور محور عمود بر صفحهٔ دایرةالبروج می‌پیماید. این، بدان معنی است که تمایل مدار حرکت ماه به‌دور زمین نسبت به‌صفحهٔ دایرةالبروج در ۵ درجه باقی می‌ماند، امّا محل تلاقی دو صفحه (مدار ماه و دایرةالبروج) بطرف مغرب تغییرمکان می‌دهد. بنابراین چنانکه قبلا هم گفته شد، محل گره‌ها ثابت نیست، بلکه دارای حرکتی قهقرایی‌اند[3] بعبارت دیگر در مدت ۱۸/۶ سال، به‌دور زمین از طرف مشرق به‌مغرب، یک گردش کامل می‌کنند.

این پدیده، به‌نام سیر قهقرایی گره‌های مدار ماه[4]، شناخته می‌شود همچنین این پدیده، شبیه حرکت تقدیمی محور زمین است. بعلت سیر قهقرایی گره‌ها بجانب مغرب، ۳۴۶/۶۲ روز طول می‌کشد تا خورشید به‌همان گره قبلی برسد. این مدت، به‌سال خسوف و کسوف[5] موسوم است.

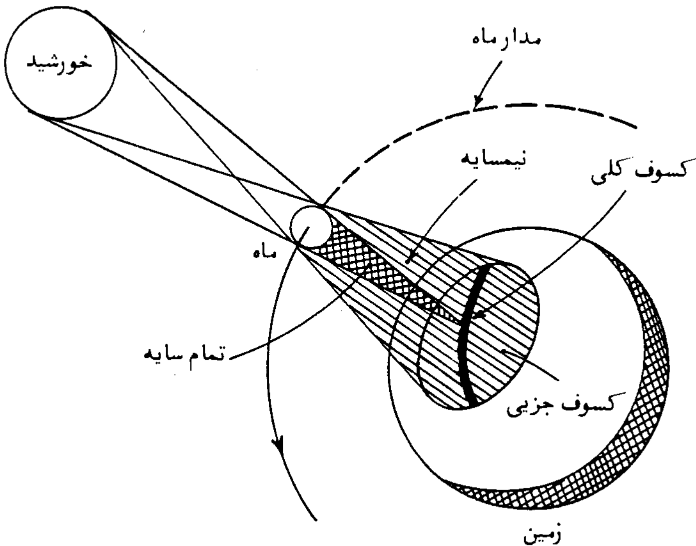
در قدیم، کلدانیها دریافتند که خسوف و کسوف مشابه از نظر وضعیتهای مداری، در یک دورهٔ ۶،۵۸۵/۳۲ روزه (معمولا ۱۸ سال و $۱۱\frac{۱}{۳}$ روز و یا $۱۰\frac{۱}{۳}$ روز اگر ۵ سال کبیسه در این دوره باشد) حادث می‌شود. این مدت در حدود دورهٔ سیر قهقرایی گره‌های مدار ماه است (۱۸/۶ سال) امّا کاملا با آن برابر نیست و این دوره، به‌دورهٔ قمری با تشابه وضعیت، یا ساروز[6] موسوم است.

دورهٔ قمری با تشابه وضعیت درست برابر ۲۲۳ دورهٔ ماه قمری (۲۹/۵۳۰۶ روز از حدوث ماه نو تا ماه نوِ بعدی) است. از آنجاییکه برگشت خورشید به‌همان گرهٔ قبلی، ۳۴۶/۶۲ روزطول می‌کشد و دقیقاً ۱۹ سال خسوف‌و‌کسوف، برابر ۶۵۸۵/۷۸ روز است، بنظر می‌رسد که ۲۲۳ ماه قمری و ۱۹ سال خسوف و کسوف تقریباً برابرند. این بدان معنی است که در پایان هر ساروز، خورشید، ماه، و گره‌های مدار ماه در وضعیت تقریباً مشابه قرار دارند و لذا خسوفها و کسوفها فقط با تغییرات بسیار جزئی تکرار می‌شوند.

1. Perturb 2. Gyrate 3. Retrograde Motion 4. Regression of the Nodes of the Lunar Orbit 5. Eclipse Year 6. Saros

**گرفتگی خورشید (کسوف)**: خورشید گرفتگی وقتی پدید می‌آید که سایهٔ ماه بر روی قسمتی از زمین بیفتد، شکل (۴۲-۶). در حقیقت می‌بایست کسوف را گرفتگی زمین[1] نامید، چنانکه در گذشته گاهی همینطوربیان شده است، چه، سایه برروی زمین می‌افتد؛ همچنانکه درمورد خسوف، سایه بر روی ماه می‌افتد. خورشید گرفتگی فقط در صورتی پدید می‌آید که خورشید، ماه، و زمین تقریباً بر یک امتداد قرار گیرند و این درصورتی است که ماه در حالت مقارنهٔ با خورشید (ماه نو) و در نزدیکی یکی از گره‌های مدار خود به‌دور زمین باشد.

در بحث انواع مختلف خسوف و کسوف، سه نکتهٔ زیر در رابطه با سه عامل اصلی خسوف و کسوف یعنی خورشید، ماه و زمین حایز اهمیت است:




**شکل (۴۲-۶)ـ کسوف یا گرفتگی خورشید. مسیر کسوف کامل و منطقهٔ کسوف جزئی نشان داده شده است. عرض مسیر کسوف کامل در جاییکه تمام سایهٔ ماه، زمین را قطع می کند، هیچوقت از ۲۷۰ کیلومتر و یا ۱۷۰ مایل بیشتر نمی‌شود. مناطق پوشیده‌شده توسط نیمسایهٔ ماه که شاهد کسوف جزئی‌اند، بسیار وسیعتر است.**

۱. چنانکه قبلا هم گفته شد، مدار حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید، بیضی-

1. Eclipses of the Earth

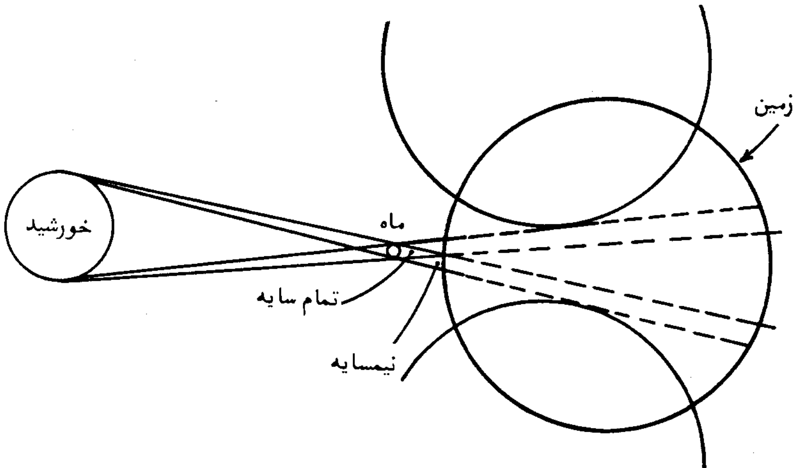
شکل است، نه دایره‌ای. در نقطهٔ حضیض (در ماه ژانویه)، فاصلهٔ زمین از خورشید حدود $۲/۵\times۱۰^{۶}$ کیلومتر کمتر از یک واحد نجومی و در نقطهٔ اوج (ماه ژوئیه)، $۲/۵\times۱۰^{۶}$ کیلومتر بیشتر از یک واحد نجومی است. بنابراین قرص خورشید در ماه ژانویه ۱/۷ درصد بزرگتر و در ماه ژوئیه، ۱/۷ درصد کوچکتر از قطر زاویه‌ای[1] متوسط آن که ′۳۱ و ″۵۹ است، می‌باشد.

۲. مدار حرکت ماه به‌دور زمین نیز یک بیضی است. فاصلهٔ ماه تا زمین در نقطهٔ حضیض ماه ۳۶۵،۰۰۰ و در نقطهٔ اوج، ۴۰۷،۰۰۰ کیلومتر است. از آنجاییکه قطر قرص ماه بطور متوسط تحت زاویهٔ ′۳۱ و ″۵ دیده می‌شود، نتیجه می‌گیریم که در نقطهٔ حضیض، ماه ۷ درصد بزرگتر و در نقطهٔ اوج ۶ درصد کوچکتر بنظر می‌رسد. در شرایط متوسط، قرص ماه ازسطح زمین کوچکتر از قرص خورشید دیده می‌شود. حتی‌وقتی که خورشیدگرفتگی، مرکزی[2] است، یعنی وقتی که مرکز قرص ماه بر مرکز قرص خورشید منطبق می‌شود—قرار گرفتن ماه در یکی از گره‌ها—، حلقهٔ خارجی خورشید قابل رؤیت است که آن را خورشیدگرفتگی حلقه‌ای[3] می‌نامند. امّا وقتی که ماه در نقطهٔ حضیض است، قطر زاویه‌ای آن ′۳۳ و ″۱۶ است که حتی از قطر زاویه‌ای خورشید در ماه ژانویه هم بیشتر است. در نقطهٔ حضیض ماه، خورشیدگرفتگی، کامل[4] است، یعنی تمام قرص خورشید وسیلهٔ قرص ماه پوشیده می‌شود.

۳. قبل و بعد از خورشیدگرفتگی مرکزی، قرص ماه قسمتی از قرص خورشید را می‌پوشاند که آن را خورشیدگرفتگی جزیی[5] نامند. بعضی از خورشیدگرفتگیها، در تمام طول مدت آن بصورت جزیی است و این درصورتی است که ماه از نقطهٔ گره آن، بطرف مشرق و یا مغرب، دور باشد و درنتیجه نتواند ایجاد خورشیدگرفتگی کامل و یا حلقه‌ای کند.

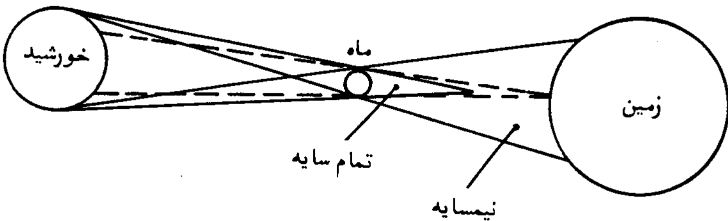
۴. تشخیص انواع خورشیدگرفتگی، با توجه به‌شکل (۴۳ـ۶) که سایهٔ ماه در آن نمایانده شده، روشنتر خواهد بود. طول تمام سایهٔ ماه، ۳۷۳،۰۰۰ کیلومتر است، درحالیکه فاصلهٔ متوسط ماه و زمین ۳۸۴،۰۰۰ کیلومتر می‌باشد. در نقطهٔ حضیض ماه، فاصلهٔ آن از زمین ۳۵۶،۰۰۰ کیلومتر است و تمام سایهٔ ماه به‌سطح کوچکی از زمین می‌رسد که در آن، خورشیدگرفتگی کامل مشاهده می‌شود. در نقطهٔ اوج ماه، فاصلهٔ آن از زمین—/ ۴۰۷،۰۰۰ کیلومتر و تمام سایه، باندازهٔ کافی بلند نیست که بتواند

1. Angular Diameter 2. Central Eclipse 3. Annular Eclipse
4. Total Eclipse 5. Partial Eclipse




**شکل (۴۳-۶) — تمام سایه و نیم‌سایهٔ ماه در موقع خورشیدگرفتگی. خورشیدگرفتگی کامل زمانی پدید می‌آید که خورشید، ماه و زمین تقریباً و یا کاملا بر روی یک راستا قرار گرفته و ماه به‌اندازهٔ کافی به‌زمین نزدیک باشد که تمام سایهٔ آن بتواند به‌سطح زمین برسد. در مسیری که توسط تمام سایه پوشیده می‌شود، خورشیدگرفتگی کامل است. در سایهٔ روشنتر یعنی در نیمسایهٔ ماه، خورشیدگرفتگی جزیی است. وقتی که زمین در دو وضعیت نشانداده شدهٔ دیگر باشد، خورشیدگرفتگی کامل پدید نخواهد آمد.**

به‌سطح زمین برسد و در این حالت، خورشیدگرفتگی را حلقوی گویند، شکل (۴۴-۶).



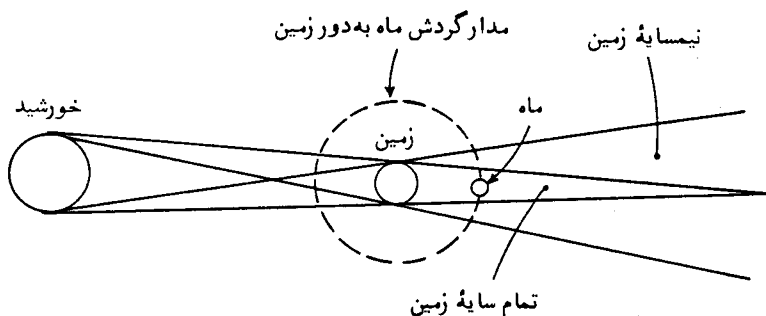

**شکل (۴۴-۶) — خورشیدگرفتگی حلقوی. در این خورشیدگرفتگی شرایط قرارگیری ماه، خورشید و زمین بر یک راستا، مانند خورشیدگرفتگی کامل است، امّا طول تمام‌سایهٔ ماه باندازه‌ای نیست که به‌زمین برسد و قرص ماه باندازهٔ کافی بزرگ نیست که قرص خورشید را بپوشاند، در این حالت یک حلقهٔ نورانی از قرص خورشید به‌دور قرص ماه دیده می‌شود.**

بیشترین دامنهٔ منطقهٔ خورشیدگرفتگیِ کامل، بر روی زمین تا حد ممکن، حدود ۱۷۰ مایل و یا ۲۷۰ کیلومتر است. از طرف دیگر دامنهٔ توسعهٔ نیمسایهٔ ماه بر روی زمین بسیار بزرگتر می‌باشد.

ازآنجاییکه ماه درمدار خود باسرعتی برابر ۱ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند، سایهٔ آن بر روی زمین نیز تقریباً با همان سرعت حرکت خواهد داشت. امّا ازطرف دیگر، زمین نیز هم‌جهت با سایه، با سرعتی درحدود ۰/۵ کیلومتر در ثانیه (در دایرهٔ استوا) به‌دور خود می‌چرخد. بنابراین سرعت سایه بر روی زمین درحدود (۰/۵ = ۰/۵ — ۱) کیلومتر در ثانیه خواهد بود. منطقه‌ای از سطح زمین راکه تمام سایهٔ ماه بر روی آن حرکت می‌کند به‌نام منطقهٔ کسوف کامل[1] می‌شناسند. در نتیجهٔ حرکات زمین و ماه، چنانکه از یک نقطه در منطقهٔ کسوف کامل، مشاهده صورت گیرد، خورشیدگرفتگی، فقط چند دقیقه بطول می‌انجامد (از یکی دو سه دقیقه تا ۷/۵ دقیقه، بسته به‌تغییرات قطر زاویه‌ای خورشید و ماه و خروج از مرکز مدار[2]). بعلت حرکت چرخشی زمین و محدود بودن منطقهٔ کسوف کامل بر روی آن، زمان متوسط بین دو کسوف کامل در یک نقطه خاص بر روی زمین درحدود ۳۶۰ سال است.

خورشیدگرفتگی جزئی درمناطقی از زمین صورت می‌پذیرد که‌نیمسایهٔ ماه‌به‌آنها می‌رسد.

**گرفتگی ماه[3] (خسوف)**: گرفتگی ماه وقتی پدید می‌آید که سایهٔ زمین بر روی آن بیفتد، شکل (۴۵ـ۶) و خسوف در صورتی ایجاد می‌شود که خورشید و زمین و ماه هر سه تقریباً بر یک راستا قرار گیرند. مانند حالت گرفتگی خورشید. درمورد گرفتگی ماه




**شکل (۴۵ـ۶) — گرفتگی ماه.**

1. The Band of Totality 2. Orbital Eccentricities 3. Eclipse of the Moon

هم، لازمست که ماه در نزدیکی یکی از گره‌های مدار خود باشد. البته در این مورد، ماه باید درحالت مقابله یعنی در فاز بدر باشد. در شکل (۴۵-۶)، سایهٔ زمین نمایانده شده است. در هنگام خسوف، ماه، اوّل وارد قسمت نیمسایهٔ زمین می‌شود. در اینحالت چنانکه ناظری درماه باشد، خواهد دید که قسمتی از قرص خورشید توسط زمین پوشانده شده است. تشخیص گرفتگی ماه در نیمسایهٔ زمین[1]، مشکل است، چه روشنی سطح ماه، بمقدار کمی کاهش می‌یابد و معمولاً این نوع گرفتن ماه از جداول خسوف و کسوف[2] حذف می‌شود.

وقتی که گرفتگی ماه در نزدیکی یکی از گره‌های آن صورت گیرد، ممکن است گرفتگی آن جزئی و یا کلی باشد. گرفتگی ماه وقتی جزئی[3] است که قسمتی از کرهٔ ماه داخل قسمت تمام سایه زمین گردد، و هنگامی کلی[4] است که تمام کرهٔ ماه داخل قسمت تمام سایهٔ زمین شود.

در فاصلهٔ ماه، قطر تمام سایهٔ زمین در حدود -/۹،۰۰۰ کیلومتر است، در حالیکه قطر ماه فقط -/۳،۴۰۰ کیلومتر می‌باشد. در نتیجه، طول مدت گرفتگی ماه می‌تواند از ۲ الی ۳ ساعت باشد.

تمام گرفتگیهای ماه، در طول مدت آن، در همهٔ نقاط سطح زمین که ماه در آنها طلوع کرده است، قابل رؤیت است؛ حتی در موارد خسوف کلی، قرص ماه با روشنی کمی قابل دیدن است، چه، مقداری از نور خورشید پس از شکست در اتمسفر زمین، به‌رویهٔ ماه رسیده، موجب روشن شدن آن به‌مقدار کم می‌گردد. از آنجاییکه اتمسفر زمین نور قرمز را بیشتر از نور آبی از خود عبور می‌دهد، لذا سطح ماه، بهنگام گرفتگی کامل، اندکی قرمز رنگ بنظر می‌رسد.

## ۵۷. ستارهٔ[5]

ستارگان توده‌های کروی شکل گازی با درجه حرارتهای بسیار زیادند و درخشندگی آنها از خود آنها سرچشمه می‌گیرد، حرارت سطح آنها، به‌هزاران درجه می‌رسد و درجهٔ حرارت درون آنها بسیار زیادتر است. برای مثال: خورشید ما، در منظومهٔ شمسی، خود، یک ستاره است.

1. Penumbral Lunar Eclipse    Tables of Eclipses    3. Partial Lunar Eclipse
4. Total Lunar Eclipse    5. Star

در این درجه حرارتهای بسیار زیاد، ماده نمی‌تواند بصورت جامد و یا مایع باقی بماند. گازهای تشکیل دهندهٔ ستارگان، بسیار متراکمتر از گازهای موجود در سطح زمین است. علت متراکم بودنشان وجود فشارهای بسیار زیاد در درون آنهاست.

ستارگان در فضا به‌اطراف حرکت می‌کنند، امّا حرکات آنها برای ناظر زمینی محسوس و قابل تشخیص نیست. در طی یکسال، تغییری در وضعیت آنها نسبت به‌یکدیگر پیدا نمی‌شود. حتی در طی هزارسال هم میزان تغییر محل ستارگان، نمی‌تواند اساسی باشد. وضعیت آنها در حال حاضر، همان وضعیت یک‌هزار سال پیش است. این ثابت بودن محل ستارگان، بعلت دوری بسیار زیاد ما از آنهاست.

در چنین فواصلی، هزاران سال بطول می‌انجامد تا تغییر قابل توجهی در وضعیت ستارگان، قابل تشخیص گردد. نام ثوابت که به‌ستارگان اطلاق می‌شود، بعلت ثابت بودن ظاهری وضعیت آنهاست.

جهان، بطور کلی از کهکشانها تشکیل شده، که بزرگترین کهکشان، خود از چندین بلیون ستاره تشکیل گردیده است. ستارگانی را که شب هنگام در پهنهٔ آسمان می‌بینیم، متعلق به کهکشان راه شیری[1] است که منظومهٔ شمسی در آن، قرار دارد. بنظر می‌رسد که این ستارگان بصورت مسطح در صور فلکی مختلف، بطور ثابت قرار گرفته‌اند، امّا درحقیقت آنها در داخل و به‌دور کهکشان، با سرعتهای بسیار بسیار زیاد در حرکت‌اند و فواصل آنها فقط از طریق سال نوری (فاصله‌ای که نور در یکسال با سرعت ــ/۱۸۶،۰۰۰ مایل در ثانیه طی می‌کند، که در حدود ۶ تریلیون، $۶\times۱۰^{۱۲}$، مایل است) و پارسک[2] (فاصله‌ای در حدود ۳/۳ سال نوری) قابل تصورند. ستارگان زیادی بصورت دوگانه[3]، سه‌گانه[4] و یا سایر مضارب، موجودند که فاصلهٔ آنها از یکدیگر کمتر بوده، حول یک مرکز مشترک، در حال گردش‌اند؛ سایر ستارگان در مجموعه‌های بزرگتر و بصورت خوشه[5] وجود دارند.

## ۵۸. سیارات[6]

سیارات که به‌دور خورشید حرکت می‌کنند، اجرام بزرگ تقریباً کروی شکل‌اند. شناخته شده‌ترین آنها، سیارهٔ زمین است. تمام سیارات منظومهٔ شمسی، نسبتاً سرد

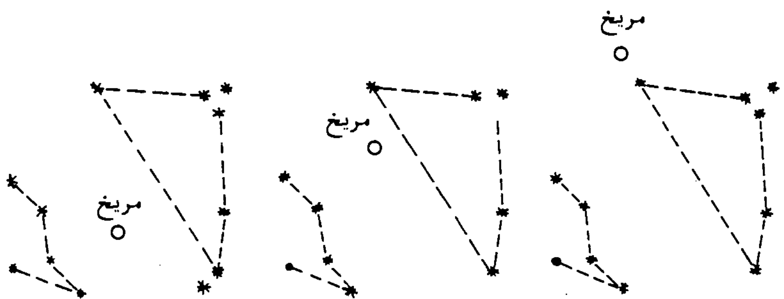
1. Milky Way  2. Parsec  3. Pair  4. Triple  5. Cluster
6. Planets

هستند و روشنی آنها، بعلت بازتاب نور خورشید از سطح آنهاست؛ بعضی از این سیارات را در ایام مختلف، با چشم غیر مسلح می‌توان مشاهده کرد. ولی سه سیاره، فقط با کمک تلسکوپ، قابل رؤیت‌اند. در دید اولیه، سیارات مانند سایر ستارگان بنظر می‌رسند که در پهنهٔ آسمان می‌درخشند، امّا یک ناظر، می‌تواند سیاره را با توجه به‌مشخصه‌های زیر تمیز دهد:

۱. سیارات با اندازهٔ زاویه‌ای[1] بزرگتر، با نور یکسانی می‌درخشند و کمتر چشمک‌زن هستند، درحالیکه ستارگان اینگونه نیستند و نوری که از آنها به‌چشمان ما می‌رسد بسرعت در رنگ و شدت آنها، تغییر حاصل می‌شود. این تغییر رنگ و شدت نور، موجب چشمک زدن[2] ستارگان می‌شود.

۲. سیارات در آسمان، دارای حرکت‌اند مثلا سیاره‌ای که یک وقت نزدیک ستاره‌ای ثابت قرار دارد، در وقت دیگر در نزدیکی ستارهٔ دیگری قرار می‌گیرد. در صورتیکه وضعیت ستارگان نسبت به‌یکدیگر تغییر نمی‌کند، شکل (۴۶ـ۶). لغت انگلیسی سیاره ( Planet ) از یک لغت یونانی به‌معنی سرگردان[3] گرفته شده است.

۳. سیارات از درون تلسکوپ بصورت قرص روشنی مشاهده می‌شوند و هرچه بزرگنمایی[4] تلسکوپ بیشتر باشد، قطر قرص مشاهده شده بزرگتر است. امّا ستارگان حتی از درون تلسکوپهای بزرگ هم بصورت نقاط روشنی دیده می‌شوند. حتی با تلسکوپ ۲۰۰ اینچی هم، فقط بصورت نقطهٔ روشنی بنظر می‌رسند.




**شکل (۴۶ـ۶) ــ حرکت سیارات در آسمان. در این شکل وضعیت سیارهٔ مریخ نسبت به‌ستارگان نمایانده شده است. فواصل نسبی ستارگان ثابت است اما وضعیت مریخ نسبت به‌آنها درطی بیست روز، تغییر یافته است.**

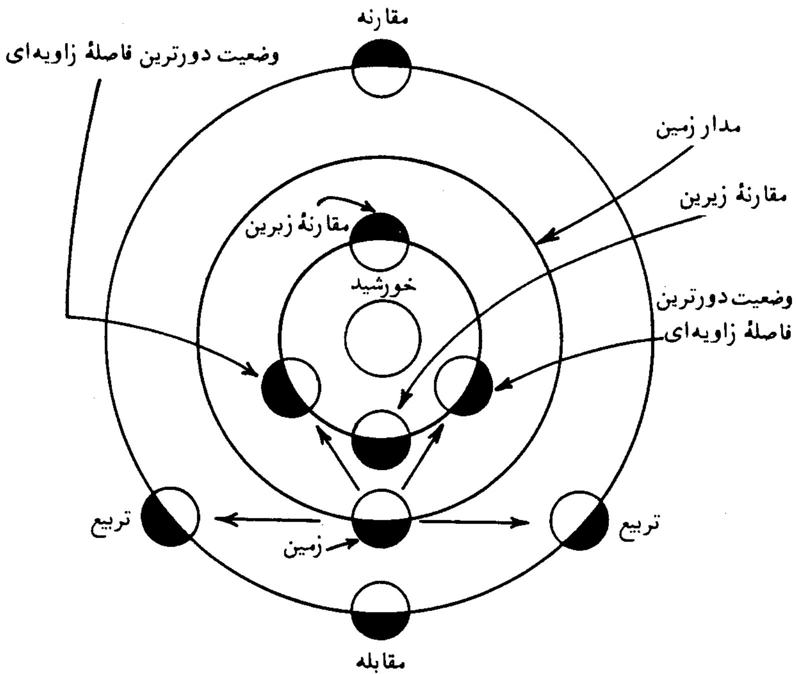
1. Angular Size 2. Twinkle 3. Wanderer 4. Magnification

۴. سیارات، تنها در یک نوار باریکی از آسمان قابل رؤیت‌اند و حرکات آنها فقط منحصر به‌همین نوار باریک است، در حالیکه ستارگان در هر جای آسمان قابل مشاهده‌اند. مسیر ظاهری سیارات[1]، منطقه البروج[2] است که به‌پهنای ۱۶ درجه در امتداد دایرهٔ استوای سماوی است.

قدما، هفت سیاره و یا ستارهٔ سرگردان[3] را می‌شناختند؛ آنها عبارت بودند از ماه، عطارد (تیر)، زهره (ناهید)، مریخ (بهرام)، مشتری (برجیس)، زحل (کیوان) و خود خورشید. حالا ما می‌دانیم که خورشید یک ستاره است و ماه را بعنوان یک قمر[4] زمین می‌شناسیم که خود زمین نیز یک سیارهٔ واقعی است. سه سیارهٔ اصلی دیگر کشف شده‌اند که عبارتند از اورانوس[5]، نپتون[6] و پلوتو[7] که به‌همراه پنج سیارهٔ دیگر جمعاً ۸ سیاره می‌شوند. بعلاوه در حدود دوهزار سیارهٔ کوچک و سیارک[8] (آستروئید) نیز وجود دارد. در مفهوم اختر فیزیکی[9] جدید، سیاره به‌یک جرم سماوی اطلاق می‌شود که درخشش آن از بازتاب نور خورشید و درجهٔ حرارتش به‌مراتب کمتر از درجهٔ حرارت خورشید باشد. سیارات اساساً با ستارگان دنباله‌دار[10] فرق دارند، بدینترتیب که بسیار متراکم‌ترند و دارای هستهٔ مرکزی گازی[11] شکل نیستند و دنباله[12] ندارند. فرق سیارات با شهابسنگ‌ها[13] در بزرگی آنهاست که آنها را در خارج جو زمین قابل رؤیت ساخته است.

سیارات مذکور به‌دو دسته تقسیم می‌شوند. سیارات زیرین[14] آنهایی‌اند که مدار حرکتشان به‌دور خورشید، در داخل مدار زمین قرار دارد و سیاره‌های زبرین[15] که مدار آنها خارج از مدار زمین واقع است. شکل (۴۷-۶). برای یک سیارهٔ زیرین، چهار آرایش[16] قابل تمایز است: مقارنهٔ زیرین[17]، وقتی که سیاره بین زمین و خورشید قرار گیرد؛ مقارنهٔ زبرین[18]، وقتی که خورشید بین زمین و سیاره قرار گیرد؛ و وضعیت دورترین فاصلهٔ زاویه‌ای شرقی و غربی[19] که نمایانگر بزرگترین زاویهٔ جدایی سیاره از خورشید است (زاویهٔ بین خط واصل بین زمین و خورشید و زمین و سیاره). سیارات زیرین مانند ماه دارای فازهای مختلف‌اند؛ در مقارنهٔ زبرین در حالت بدر، در وضعیت دورترین فاصلهٔ زاویه‌ای، نصف قرص آنها نمایان (مثل حالت تربیع ماه) است و در مقارنهٔ زیرین،

1. The Apparent Pathway of Planets 2. Zodiac 3. Wandering Star
4. Satellite 5. Uranus 6. Neptune 7. Pluto 8. Asteroid
9. Astrophysical 10. Comets 11. Gaseous Coma 12. Tail
13. Meteorites 14. Inferior Planets 15. Superior Planets
16. Configuration 17. Inferior Conjunction 18. Superior Conjunction
19. Greatest East and West Elongation




**شکل (۴۷ـ۶) —آرایش سیارات. مقارنهٔ زیرین و زبرین و وضعیت دورترین فاصلهٔ زاویه‌ای یک سیارهٔ درونی (داخلی‌ترین دایرهٔ شکل) ومقارنه، مقابله و تربیع یک سیارهٔ زبرین (بیرونی‌ترین دایره).**

طرف تاریک آنها به‌طرف زمین است و دیده نمی‌شوند (مثل حالت ماه نو) برای یک‌سیارهٔ زبرین چهار آرایش قابل تمایز است: مقارنه، وقتی که خورشید بین زمین وسیاره‌قرارداردِ؛ مقابله، وقتی که زمین بین خورشید و سیاره قرار می‌گیرد و در نتیجه به‌سیاره نزدیکتر است، و تربیع شرقی و غربی[1] که در هرکدام از این دو تربیع خط واصل بین سیاره و زمین بر خط واصلِ زمین و خورشید عمود است.

فاز یک سیارهٔ زبرین درحالت‌های مقابله و مقارنه، کامل (مثل ماه در فاز بدر) و درحالت تربیع که کمترین مقدار از قرص سیاره پیداست به‌اندازهٔ حالت تثلیث ماه است. حرکت سیارات نسبت به‌ستارگان گاهی بطرف مشرق (حرکت مستقیم[2]) و گاهی بطرف مغرب (حرکت معکوس[3]) است که اندازهٔ حرکت آنها برای سیارات مختلف متغیر

1. East and West Quadrature 2. Direct Motion 3. Retrograde Motion

است. این حرکتِ ظاهریِ شرقی و غربی، که مدتها موجب تفسیرهای مختلف بود، بعلت حرکتهای دورانی زمین و سیارات به‌دور خورشید است که مجموعهٔ دو حرکت، اینگونه حرکاتِ شرقی و غربی را موجب می‌شوند.

## ۵۹. صورتهای فلکی[1]

از اتصال ستارگان مشخصی که بسادگی قابل تمایزند، با خطوط فرضی به‌یکدیگر، اَشکالی در سطح آسمان بوجود می‌آید که اصطلاحاً صور فلکی نامیده می‌شوند. صورتهای فلکی در مشخص کردن وضعیت اجرام سماوی، بکار گرفته می‌شوند. در بیشتر موارد، اجرام سماوی واقع در یک صورت فلکی، از نظر فیزیکی با یکدیگر ارتباطی ندارند و در فواصل متغیری نسبت به‌زمین قرار گرفته‌اند و شکل ظاهری آنها ناشی از میدان دید ناظر زمینی است. نام بسیاری از صورتهای فلکی، بخصوص آنهائی که در منطقةالبروج و اطراف قطب شمال سماوی واقعند، توسط پیشینیان انتخاب شده است و آنها اسامی قهرمانان، حیوانات و سایر اشیاء مربوط به‌افسانه‌ها را به‌این صورتهای فلکی داده‌اند. سایر صور فلکی، یعنی صور فلکی جدید، دارای نام ابزار علمی[2] اند. دسته‌های ستارگان واقع در صورتهای فلکی، در بین تمدنهای مختلف فرق دارند. مثلا چینی‌ها، برای دسته‌های مختلف ستارگان اسامی دیگری را در مقایسه با آنچه که توسط مغرب‌زمینیها صورت گرفته، انتخاب کرده‌اند. در طی قرون متمادی، حدودهای مورد نظر و تعداد صورتهای فلکی انتخاب شده، حتی در میان مردم غرب، تغییر یافته ولی شکل تعداد زیادی از آنها، مقدار کمی تغییر کرده است.

در یک مجموعه‌ای که در حدود سال ۱۵۰ میلادی، تهیه شده، اسامی ۴۸ صورت فلکی ذکر شده است.

در سنگنبشته‌ای از مصریان، که مربوط به‌حدود ـــ/۲،۰۰۰ سال قبل است، صور فلکی شناخته شده توسط آنها، حک گشته که در میان آنها تعدادی از صور فلکی امروزی قابل تشخیص است. این بدان معنی است که شکلهای ایجاد شده توسط مجموعهٔ زیادی از ستارگان درطی ۲۰ قرن به‌مقدار کمی تغییر کرده و مشخصهٔ بعضی از صور فلکی از روزگار باستان باقی مانده است.

در نجوم جدید، ۸۸ صورت فلکی مشخص شده است. هر کدام از این صور دارای

1. Constellations 2. Scientific Instruments

حدود مشخص و نام اولیه‌ای است که در گذشته به‌آنها داده شده است. ۸۸ صورت فلکی موجود تمام کرهٔ سماوی را دربر می‌گیرد.

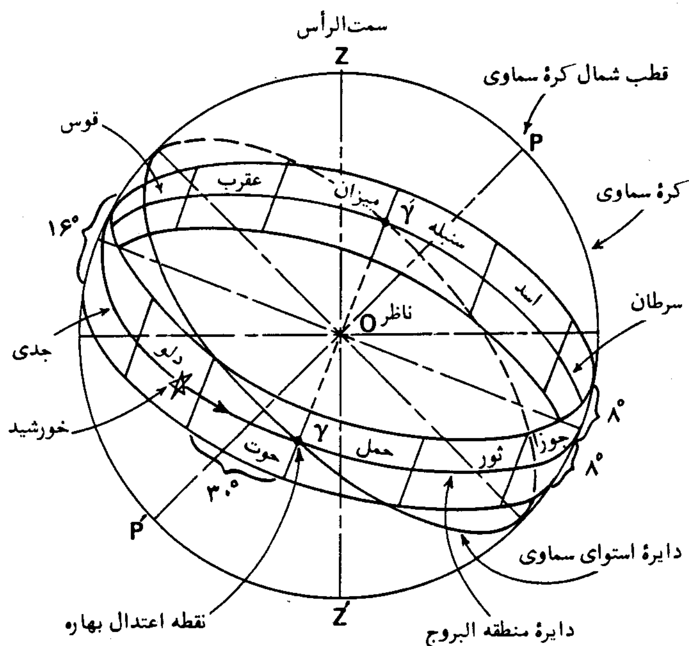
## ۶۰. منطقه‌البروج[1]

منطقه‌البروج، کمربندی بر روی کرهٔ سماوی با پهنای °۱۶ است که نمایانگر مسیر حرکات خورشید، ماه، و سیاره‌های عمده است. (سیارهٔ پلوتو و تعداد زیادی از سیارکها در مسیر منطقه البروج قرار ندارند). وسط این کمربند، بموازات سطح دایرة‌البروج قرارگرفته است. منطقه البروج دارای ۱۲ قسمت ۳۰ درجه‌ای است که هر کدام به‌نام برج[2] مشخص شده است. شروع ۱۲ برج از نقطهٔ اعتدال بهاری بطرف مشرق می‌باشد و اسامی آنها از اسامی صور فلکی که در حدود —/۲،۰۰۰ سال قبل در هر کدام از تقسیمات قرار داشته‌اند، بدست آمده است، شکلهای (۴۸-۶) و (۴۹-۶).

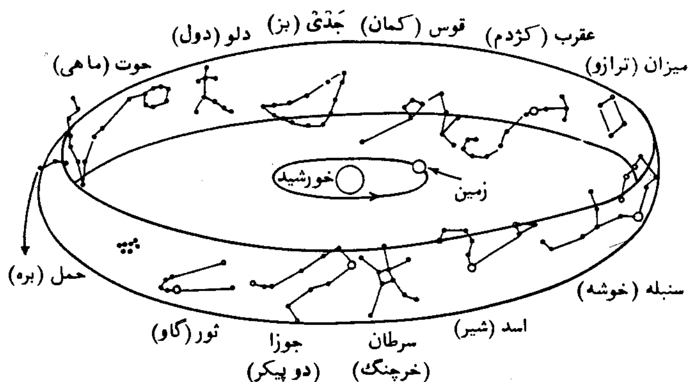
اما در اثر حرکت تقدیمی، نقطهٔ اعتدال بهاری از حدود دوهزار سال قبل به‌اینطرف، تقریباً ۳۰ درجه بطرف مغرب حرکت کرده و در نتیجه، اسامی و صور فلکی واقع بر روی منطقه البروج در همان وضعیت دوهزارسال پیش نیست. بنابراین وقتی که خورشید در اوّل بهار (۲۱ مارس) وارد برج حمل[3] می‌شود، در حقیقت این صورت فلکی حوت[4] است که خورشید مقابل آن قرار می‌گیرد و تا یک ماه بعد از آن، وارد برج حمل نمی‌گردد. لغت خارجی منطقة البروج از کلمه‌ای یونانی[5] به‌معنی دایرهٔ حیوانات[6] گرفته شده است. منطقه البروج دارای ریشهٔ باستانی است و نقشه های قدیمی حدود بسیاری از صور فلکی را به‌همین صورت امروزی نشان می‌دهند. ورود خورشید در برجهای دوازده‌گانه و تاریخ تقریبی آنها به‌شرح زیر است:

۱. برج حمل[7]، در بیست‌ویکم مارس.
۲. برج ثور[8]، در بیستم آوریل.
۳. برج جوزا[9]، در بیست‌ویکم مه.
این سه برج مربوط به‌فصل بهار است.
۴. برج سرطان[10]، در بیست‌ویکم ژوئن.

1. Zodiac 2. Sign 3. The Sign of Aries 4. The Constellation Pisces
5. Zodiakos 6. Circle of Animals 7. Ram (Aries) 8. Bull (Taurus)
9. Twins (Gemini) 10. Crab (Cancer)




شکل (۶-۴۸) — منطقةالبروج و دایرهٔ سماوی بر روی کرهٔ سماوی.




شکل (۶-۴۹) — صور منطقةالبروج. در این شکل منطقةالبروج بصورت نواری به‌دور خورشید و زمین نشان داده شده که در صفحهٔ مدار زمین به‌دور خورشید، قرار گرفته است. بنحوی که از زمین دیده می‌شود، نوار منطقةالبروج مسیر حرکت ماه، خورشید و سیارات، درحرکتهای ظاهری آنهاست که نسبت به‌ستارگان ثابت در پهنهٔ آسمان و بخصوص نسبت به‌صور نشان داده‌شده، قابل تشخیص‌اند. صور نشان داده‌شده در قسمت جلوی شکل، برای ناظری بیرون از نوار منطقةالبروج، نموده شده است.

۵. برج اسد[1]، در بیست‌وسوم ژوئیه.

۶. برج سنبله[2]، در بیست‌وسوم اوت.

این سه برج مربوط به‌فصل تابستان است.

۷. برج میزان[3]، در بیست‌وسوم سپتامبر.

۸. برج عقرب[4]، در بیست‌وچهارم اکتبر.

۹. برج قوس[5]، در بیست‌ودوّم نوامبر.

این سه برج مربوط به‌فصل پاییز است.

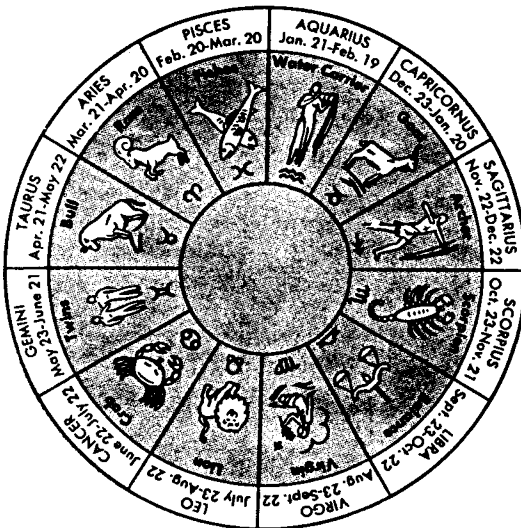
۱۰. برج جَدْیْ[6]، در بیست‌ودوم ماه دسامبر.

۱۱. برج دلو[7]، در بیستم ژانویه.

۱۲. برج حوت[8]، در نوزدهم فوریه.

این سه برج مربوط به‌فصل زمستان است.

در شکل (۵۰-۶)، اشکال و علائم مربوط به‌صورتهای‌فلکیِ منطقة‌البروج و تاریخ تقریبی آنها با تقویم گرگوری، نشان داده شده است.




**شکل (۵۰-۶) ــ اشکال و علائم صور منطقة‌البروج و تاریخ تقریبی آنها با تقویم گرگوری**

1. Lion (Leo) 2. Virgin (Virgo) 3. Balance (Libra)
4. Scorpion (Scorpius) 5. Archer (Sagitarius) 6. Goat (Capricornus)
7. Water Bearer (Aquarius) 8. Fishes (Pisces)

## ۶۱. کهکشان[1]

کهکشان واحد اساسی دستگاه ستارگان است که جهان از مجموعهٔ آنها تشکیل یافته است. یک مثال، کهکشان راه شیری است، که از ستارگان و مواد بین ستاره‌ای تشکیل شده که خورشید و سیاره‌های مربوط به آن جزئی از آنست.

کهکشانها به‌سه دستهٔ عمومی طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از: کهکشان مارپیچی[2]، کهکشان بیضوی شکل[3] و کهکشان نامنظم[4].

## ۶۲. کهکشان راه شیری[5]

در یک شب صاف و بدور از نورِ چراغهای شهر، یک نوار نورانی به‌شکل یک کمربند نامنظم، بر سطح آسمان مشاهده می‌شود که عرض آن از ۵ درجه تا ۵۰ درجه تغییر می کند. این نوار نورانی که با نور ضعیف و غیر مداومی، دیده می‌شود، همان کهکشان راه‌شیری، راه کاهکشان و یا راه‌مکه است. رومیان قدیم آنرا با اسم راه‌شیری[6] می‌نامیدند و در افسانه‌های اقوام اولیه، بسیار از آن یاد شده است. کهکشان راه شیری در شبهای مناطق حاره[7] بهتر معلوم است. در رصدهای تلسکوپی، نوار راه شیری بصورت تعداد زیادی از ستارگان کم‌سو[8]، نمایان است. این رصدها، قسمت مرکزی کهکشان ما را نشان می‌دهند. پدیدهٔ راه شیری در آسمان، نتیجهٔ وجود ستارگان بسیار زیاد در فواصل مختلف است که بعضی از آنها چندصد سال نوری از خورشید فاصله دارند و برخی دیگر ممکن است تا حدود ـــ/۲۰،۰۰۰ سال نوری فاصله داشته باشند.

کهکشان راه شیری حاوی تقریباً ۱۰۰ بیلیون ستاره است که تعدادی از آنها ذاتاً از خورشید نورانی‌تر و پاره‌ای دیگر خیلی کم‌نورترند. خورشید نزدیکِ حدِ وسطِ مقیاسِ درخشندگی ذاتی[9] قرار گرفته است.

راه شیری یک کهکشان از نوع مارپیچی تخت[10] با قطر تقریبی ـــ/۱۰۰،۰۰۰ سال نوری است که ضخامت آن در ناحیهٔ مرکزی در حدود ـــ/۴،۰۰۰ سال نوری است. تمام کهکشانهای مارپیچی کاملا تخت و عدسی‌مانند هستند که از مجموعهٔ

1. Galaxy 2. Spiral Galaxy 3. Ellipsoidal (elliptical) Galaxy
4. Irregular Galaxy 5. Milky Way 6. The Via Lactea
7. Tropical 8. Faint Stars 9. The Scale Of Intrinsic Birghtness
10. Flattened Spiral Galaxy

بسیار زیادی از ستارگان، متشکل شده‌اند. آنها دارای یک هستهٔ مرکزی[1] بی‌شکل[2] (آمرف)اند که بازوهای مارپیچی[3] از آنها به‌طرف خارج کهکشان بیرون زده است.

خورشید ما در نزدیکی صفحهٔ مرکزی[4] کهکشان قرار گرفته و فاصلهٔ آن از مرکز کهکشان تقریباً ـ/۲۵،۰۰۰ الی ـ/۳۰،۰۰۰ سال نوری است. تختی زیاد کهکشان ما، این نکته را آشکار می‌کند که تمام مجموعهٔ آن می‌بایست با سرعت زیادی در حال دوران باشد و در حقیقت این مطلب از طریق مشاهدات نجومی اثبات شده است. منظومهٔ شمسی و بسیاری از ستارگان نزدیک به‌آن با سرعتی در حدود ۱۷۰ مایل در ثانیه، حول مرکز کهکشان در حرکت‌اند و یک دور کامل آنها حدوداً ـ/۲۵۰ میلیون سال، بطول می‌انجامد.

## ۶۳. عبور[5]

در نجوم، گذر یک جرم سماوی، از قرص یک جرم سماوی دیگر، و یا از یک دایرهٔ عظیمهٔ کرهٔ سماوی، عبور، نام دارد. اصطلاح عبور بیشتر در مورد گذرِ یک جرم سماوی از نصف‌النهارِ سماویِ ناظر بکار برده می‌شود؛ بهنگام عبور یک جرم سماوی از نصف‌النهار سماوی یک ناظر، جرم سماوی، بیشترین ارتفاع را برای آن ناظر خواهد داشت. ستارگان دورقطبی دوبار از نصف‌النهار سماوی یک ناظر عبور می‌کنند؛ یکی از آنها در بالای قطب و دیگری در زیر قطب قرار گرفته‌اند، که به‌ترتیب به‌نام عبور یا گذر زبرین[6] و عبور زیرین[7] معروفند. بیشترین ارتفاع یک جرم سماوی در گذر یا عبور زبرین، حاصل می‌گردد. سیاره‌های زهره (ناهید) و عطارد (تیر) وقتی از میان قرص خورشید عبور می‌کنند که در مسیر حرکت خود به‌دور خورشید، بین زمین و خورشید قرار گرفته باشند؛ در چنین حالتی، بصورت یک نقطهٔ تاریک[8] بر روی قرص خورشید نمایان می‌شوند. مدار سیارهٔ زهره در حدود ۷ درجه و مدار سیارهٔ عطارد ۳/۵ درجه نسبت به‌سطح دایرة‌البروج متمایل‌اند و به‌همین علت عبور این دو سیاره از میان قرص خورشید پدیده‌ای نادر است و لذا معمولا از بالا و یا زیر قرص خورشید گذر می‌کنند. عبور سیارهٔ عطارد در یک دورهٔ ۳ تا ۱۳ ساله اتفاق می‌افتد.

1. Central Nuclear Region 2. Amorphous 3. Spiral Arms
4. Central Plane 5. Transit 6. Upper Culmination
7. Lower Culmination 8. Dark Spot

گذر قمر یک سیاره از قرص آن، عبور قمر[1]، نام دارد.

در نقشه‌برداری، لغت انگلیسی عبور یعنی ترانزیت[2] به‌یک وسیلهٔ تلسکوپی نیز اطلاق می‌گردد که برای اندازه‌گیری زوایای افقی و عمودی[3] نسبت به‌یک خط تراز و همچنین اندازه‌گیری مسافت بکار می‌رود.

دستگاه ترانزیت نجومی[4] متشکل از یک ابزار تلسکوپی[5] است که به‌منظور رصد عبور یک شیی نجومی از نصف‌النهار ناظر، اختصاص داده شده است.

## ۶۴. سکستانت[6]

سکستانت، یک ابزار دریانوردی[7] است که در اندازه‌گیری زوایا، بخصوص ارتفاع اجرام سماوی، بکار می‌رود. در اوایل، این وسیله از کمانی ۶۰ درجه ($\frac{1}{6}$ محیط دایره) تشکیل شده بود که نام آن نیز از همینجا ناشی شده است، و بعلت بکار بردن اساس انعکاس دوگانه[8]، با چنین وسیله‌ای می‌توان زوایای تا ۱۲۰ درجه را اندازه‌گیری کرد. سکستانت را نیز می‌شود برای اندازه‌گیری زاویهٔ افقی بین دو نقطه، بکار برد.

امروزه، نام سکستانت معمولا به‌تمام ابزارهائی از این نوع، بدون توجه به‌میزان درجات قسمت کمانی آنها، اطلاق می‌گردد که پاره‌ای از آنها ندرتاً، دقیقاً ۶۰ درجه است. گاهی اصطلاحات اکتانت[9]، کانتانت[10] و کوادرانت[11] درمورد ابزار ۴۵، ۷۲ و ۹۰ درجه‌ای بکار می‌رود.

## ۶۵. تئودولیت[12]

تئودولیت وسیله‌ای در نقشه‌برداری است که برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم بکار گرفته می‌شود و اساساً شبیه ابزار ترانزیت است. در تئودولیت درجات مربوط به‌اندازه‌گیری زوایا، بزرگ و تلسکوپ بکار رفته دارای بزرگنمایی بالایی است.

1. Transit of Satellite 2. Transit 3. Horizontal and Vertical Angles
4. Astronomical Transit 5. Telescopic Instrument 6. Sextant
6. Sextant 7. Navigation Instrument 8. Double Reflecting Principal
9. Octant 10. Quintant 11. Quadrant 12. Theodolite

## ۶۶. استرلاب[1]

استرلاب یک ابزار کوچک و قابل حملی است که توسط یونانیان اختراع شده است. استرلاب از صفحه‌ای دایره‌ای، تشکیل یافته که از یک نقطهٔ محیط آن آویزان می‌شود. یک عقربه[2] مجهز به‌آلت نشانه روی[3] که می‌تواند حول مرکز صفحهٔ دایره‌ای بعنوان محور، دوران کند، برای نشانه رفتن بسوی خورشید ویاستاره‌است. عقربهٔ قابل تنظیم استرلاب، برای نشان دادن وقت روز، در لبهٔ مدرج صفحهٔ دایره‌ای بکار می‌رفته است.

استرلاب در ایران بسیار کاربرد داشته و معمولا نام آن یادآور نام ایران است چه، منجمین ایرانی، آن را در سطح وسیعی بکار گرفته‌اند.

دریانوردان، آن را تا سالهای ۱۷۰۰ بکار می‌بردند، زیرا، وسیله‌ای دقیق بوده و جهت تعیین عرض جغرافیایی، مورد استفاده قرار می‌گرفته است. همچنین این ابزار در تعیین جهت قبله کاربرد داشته است.

## ۶۷. تصحیحات نجومی[4]

در رصدهاییکه برای اندازه‌گیری ارتفاع اجرام سماوی، مانند خورشید و سایر ستارگان، صورت می‌گیرد، ارتفاع بدست آمده، ارتفاع ظاهری[5] است و مقادیر مشخص شده را می‌بایست تصحیح کرد. دراین مورد تصحیح های مورد لزوم به‌نام تصحیحات نجومی معروف هستند و به‌شرح زیر می‌باشند:

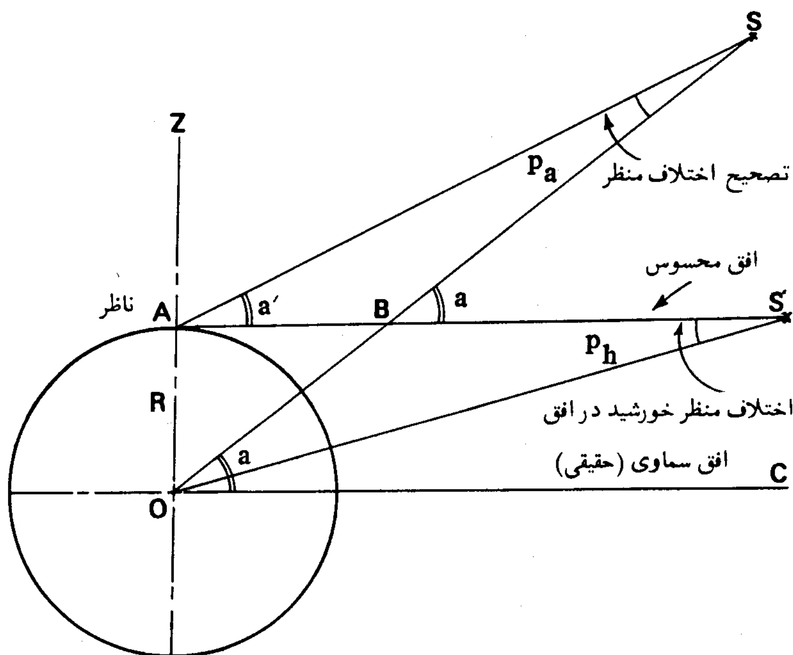
۱. تصحیح اختلاف منظر[6].
۲. تصحیح شکست نور[7].
۳. تصحیح شیب افق[8].
۴. تصحیح نیم قطر[9].

**۱. تصحیح اختلاف منظر:** اختلاف منظر، اختلاف امتداد شعاع دید یک جرم سماوی از محل دید ناظر بر سطح زمین و از مرکز زمین است. درمورد ستارگان، موضوع اختلاف منظر مورد توجه نیست زیرا بعلت بُعد مسافت، امتداد شعاعهای دیده

1. Astrolabe 2. Pointer 3. Sight 4. Astronomical Corrections
5. Apparent Altitude 6. Correction for Parallax 7. Correction for Refraction
8. Correction for Dip of Horizon 9. Correction for Semi-Diameter

شده ازسطح زمین و ازمرکز زمین عملا موازی‌اند. امّا درمورد بعضی ازاجرام سماوی، مانند خورشید و ماه که فاصلهٔ آنها از زمین، درمقایسه با ستارگان، بسیار نیست، امتداد شعاعهای دیده شده از سطح و مرکز زمین موازی نیستند. بنابراین تصحیح اختلاف منظر، فقط درمورد خورشید، ماه و سایر اشیاء نزدیک بکار می‌رود. چنانکه از نقاط مختلفی بر روی زمین به‌خورشید و ماه نگاه کنیم، وضعیت آنها بر روی کرهٔ سماوی، بعلت نزدیکی نسبی‌شان به‌زمین، یکسان نخواهد بود. به‌همین علت مقادیر میل و بُعد آنها، در جداول نجومی، می‌بایست نسبت به‌یک نقطهٔ مبنای مشخصی، ثبت شود که بتواند مورد استفادهٔ همگان قرار گیرد. این نقطهٔ مبنا، مرکز زمین است، بدینترتیب، با داشتن میل و بعد جرم سماوی نسبت به‌مرکزِ زمین، می‌توان با وارد ساختن تصحیح اختلاف منظر، میل و بعد آن را نسبت به‌هر مکان دیگر بر روی سطح زمین محاسبه کرد.

در شکل (۵۱ـ۶)، اختلاف منظر خورشید نمایانده شده است. در این شکل حروف و علامات به‌شرح زیرند:




شکل (۵۱ـ۶) — اختلاف منظر خورشید.

O = مرکز زمین.
A = محل ناظر و یا محل رصد.
S = محل خورشید به هنگام رصد.
S' = محل خورشید بر افق محسوس.
OC = افق سماوی یا افق حقیقی[1].
AB = افق محسوس[2].

$\widehat{SAB} = a'$ = ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری.

$\widehat{SOC} = a$ = ارتفاع واقعی[3].

$\widehat{ASB} = p_a$ = تصحیح اختلاف منظر.

$\widehat{ASO} = p_h$ = اختلاف منظر خورشید در افق[4].

وقتی که خورشید بر صفحهٔ افق محسوس قرار می‌گیرد، ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری[5] آن صفر است و زاویه $p_h$ که زاویهٔ دید شعاع زمین (OA) از نقطهٔ S' است، اختلاف منظر خورشید در افق، نامیده می‌شود.

با توجه به‌شکل، واضح است که خواهیم داشت:

$$\sin p_h = \frac{R}{OS'}$$

بنابراین مقدار اختلاف منظر خورشید در افق با فاصلهٔ خورشید از مرکز زمین نسبت معکوس دارد. مقدار آن از ″۸/۹۵ در اوایل ژانویه تا ″۸/۶۶ در اوایل ژوئیه تغییر می‌کند، و در جداول نجومی، مقادیر اختلاف منظر خورشید در افق، ده روز بده روز در تمام طول سال داده شده است. مقدار متوسط اختلاف منظر خورشید در افق ″۸/۸ است.

حال با توجه به‌شکل خواهیم داشت:

$$\text{ارتفاع حقیقی} = a = \widehat{SOC} = \widehat{SBS'}$$

$$= \widehat{SAB} = \widehat{ASB}$$

$$= a' + p_a$$

1. Celestial (True) Horizon 2. Sensible Horizon 3. True Altitude
4. Sun's Horizontal Parallax 5. Apparent Altitude

و یا

(۶-۲۳) تصحیح اختلاف منظر + ارتفاع ظاهری = ارتفاع حقیقی

بنابراین

$$\text{تصحیح اختلاف منظر} = p_a = (a - a')$$

درمثلث AOS خواهیم داشت

$$\frac{\sin \widehat{ASO}}{\sin \widehat{OAS}} = \frac{OA}{OS}$$

$$\sin \widehat{ASO} = \sin \widehat{OAS} \times \frac{OA}{OS}$$

و یا

$$\sin p_a = \sin(90° + a') \times \frac{OA}{OS}$$

امّا

$$\sin p_a = \cos a' \times \frac{OA}{OS}$$

پس

$$\frac{OA}{OS} = \frac{OA}{OS'} = \sin p_h$$

(۶-۲۴)
$$\sin p_a = \sin p_h \cos a'$$

ازآنجاییکه زوایای $p_a$ و $p_h$ ، زوایای بسیار کوچکی هستند، درنتیجه

یعنی

$$p_a = p_h \cos a'$$

(ارتفاع ظاهری) cos × اختلاف منظر در افق = تصحیح اختلاف منظر

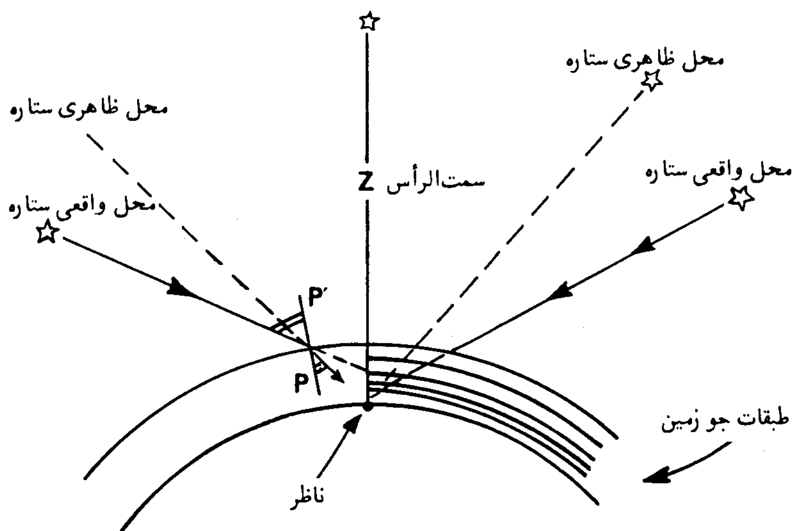
(۶-۲۵) $8''/8 \cos a'$ = تصحیح اختلاف منظر

وقتی که خورشید درسطح افق قرار می‌گیرد ($a' = 0$)، اندازهٔ تصحیح اختلاف منظر بیشترین مقدار و هرچه خورشید به‌سمت‌الرأس نزدیک‌تر شود، میزان تصحیح اختلاف منظر کاهش می‌یابد.

**۲. تصحیح شکست نور:** اشعهٔ نوری که از یک ستاره می‌آید، قبل از رسیدن به‌چشم ناظر، می‌بایست از جو کرهٔ زمین عبور کند. درنتیجه، تشعشع موردنظر در جو، شکست پیدا می‌کند. وزن مخصوص جو درطبقهٔ پایینی آن ۰/۰۰۱ گرم درمترمکعب

است و لذا اشعهٔ آمده از فضای تقریباً خلا بین ستاره‌ای، در آن شکست یافته و یا خم می‌شود. نحوهٔ خم‌شدن امتداد اشعه، بصورتی است که اشعه بطرف امتداد عمود بر سطح طبقات جو نزدیکتر می‌شود، امتداد PP' در شکل (۵۲ـ۶). عمل شکست نور در جو زمین همانند شکست آن در یک عدسی و یا یک منشور است. برخلاف حالت یک عدسی، اتمسفر دارای طبقات مختلفی است که وزن مخصوص آنها با نزدیکتر شدن به‌سطح زمین افزایش می‌یابد. در نتیجه با عبور نور از طبقات اتمسفر، میزان شکست آن بیشتر و بیشتر شده و اندازهٔ خم‌شدگی امتداد آن افزایش می‌یابد. این مطلب در طرف راست شکل (۵۲ـ۶) نمایانده شده است. تمام اجرام سماوی بجز آنهایی که در سمت‌الرأس‌اند و نور آنها عمود بر اتمسفر می‌آید، در آسمان، در محلی بالاتر از محل واقعی خود بنظر می‌رسند. بنابراین ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری ستارگان و سایر اجرام سماوی را می‌بایست برای شکست نور در اتمسفر تصحیح کرد.

زاویهٔ بین امتداد اشعهٔ یک ستاره، بهنگام ورود به‌اتمسفر و امتداد اشعهٔ آن به‌هنگام رسیدن به‌سطح زمین زاویه تصحیح شکست نور[1]، نام دارد. تصحیح برای




**شکل (۵۲ـ۶)ــ شکست نور در اتمسفر زمین. نحوهٔ خم‌شدن امتداد اشعهٔ یک ستاره در جو زمین بصورتی است که محل ستاره بالاتر از محل واقعی آن به‌چشم ناظر می‌رسد. امتداد PP'، امتداد خط عمود بر سطح اتمسفر است و دیده می‌شود که زاویهٔ تابش بزرگتر از زاویهٔ شکست است.**

1. Refraction Angle of Correction

شکست نور می‌بایست همیشه از ارتفاع ظاهری کسر گردد. میزان تصحیح شکست نور بستگی به‌عوامل زیر دارد:

وزن مخصوص هوا،

درجهٔ حرارت هوا،

فشار جو و

ارتفاع.

میزان تصحیح شکست نور برای تمام اجرام سماوی، یکسان می‌باشد و تابع فاصلهٔ آنها نیست. اندازهٔ تصحیح شکست نور از صفر دقیقه برای ستارهٔ واقع در سمت‌الرأس تا ۳۵ دقیقه (بیشتر از نیم درجه) برای ستارهٔ واقع در افق، تغییر می کند. ستاره‌ای که ۵ درجه در بالای افق است، تصحیح شکست نور آن تقریباً ۱۰ دقیقه است. در اجرام سماوی که در نزدیک سطح افق قرار دارند، بعلت عبور اشعهٔ آنها از ضخامت بیشتری از جو زمین، تصحیح شکست نور زیادتر است. در حقیقت خورشید که دارای قطر زاویه‌ای در حدود ۳۰ دقیقه و یا نیم درجه است، درطلوع و غروب، باندازهٔ قطر آن بالاتر دیده می‌شود و لذا طول روز، در مقایسه با حالتی که زمین اتمسفری نداشته باشد، چند دقیقه‌ای بیشتر است.

در فشار ۲۹/۶اینچ جیوه و درجهٔ حرارت ۵۰درجهٔ فارنهایت، اندازهٔ تصحیح شکست نور را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

(۶-۲۶) $۵۸'' \tan z = ۵۸'' \cot a =$ تصحیح شکست نور برحسب ثانیهٔ قوسی

که در آن a ارتفاع ظاهری جرم سماوی و z فاصلهٔ سمت‌الرأس مشاهده‌شدهٔ آنست.

میزان تصحیح شکست نور درشرایط فوق را به‌نام شکستِ نورِمتوسط[1] می‌نامند. برای شرایط دیگر، می‌بایست فرمولهای دیگری را بکارگرفت. این فرمول را در حالتی که ارتفاع یک جرم سماوی کمتر از ۲۰ درجه است، نباید بکار برد، چه، اندازهٔ تصحیح خیلی زیاد می‌شود. میزان تصحیح شکست نور در ارتفاعهای کم نامعین است و لذا رصدهای نجومی برای تعیین دقیق پارامترها، نمی‌بایست در ارتفاعهای کمِ اجرام سماوی، درحالیکه نزدیک افق‌اند، صورت پذیرد.

مقادیر تصحیح شکست نور برای ارتفاعهای مختلف برحسب فشار اتمسفریک، درجهٔ حرارت هوای بیرونی و درجهٔ حرارت متصل به‌فشارسنج، در جداول ریاضی چمبر[2] داده شده است.

1. Mean Refraction 2. Chamber's Mathematical Tables

شکست نور در جوّ زمین اثری در اندازهٔ سمتِ اجرام سماوی ندارد. وجود طبقات اتمسفر با وزن مخصوصهای متفاوت و همچنین حرکت افقی و قائم این طبقات، موجب ایجاد شکست نور بصورت متغیر می‌گردد که این پدیده خود باعث چشمک‌زدن نور ستارگان می‌شود. شکست نور متغیر[1] برای یک‌رصد خوب و مناسب، مطلوب نیست و یک‌رصد مناسب در غیاب شکست نور متغیر صورت می‌پذیرد.

**۳. تصحیح شیب افق:** زاویهٔ بین افق محسوس و افق مرئی، شیب افق نامیده می‌شود.

از آنجایی که صفحهٔ افق محسوس بموازات صفحهٔ افق حقیقی است، لذا شیب افق به‌زاویهٔ بین افق حقیقی و افق مرئی نیز اطلاق می‌شود. زمانی که رصد در سطح دریا توسط سکستانت صورت می‌پذیرد، ارتفاع ستاره و یا خورشید نسبت به‌افق مرئی دریا اندازه‌گیری می‌شود. بعلت کروی بودن زمین، افق مرئی، در زیر افق حقیقی قرار می‌گیرد. لذا زاویهٔ شیب افق می‌بایست از ارتفاع مشاهده شده، کسر گردد.

در شکل (۵۳-۶):

A= محل ناظر.

AB = h = ارتفاع ناظر نسبت به‌سطح دریا.

S= وضعیت ستاره و یا خورشید.

AD= افق مرئی.

AC = افق محسوس.

OH= افق حقیقی.

$\widehat{SAD} = a' =$ ارتفاع ظاهری و یا ارتفاع مشاهده شدهٔ ستاره و یا خورشید.

$\widehat{SAC} = a =$ ارتفاع حقیقی ستاره و یا خورشید.

$\widehat{CAD} = \beta =$ زاویهٔ شیب افق، و

R= شعاع زمین، می‌باشند.

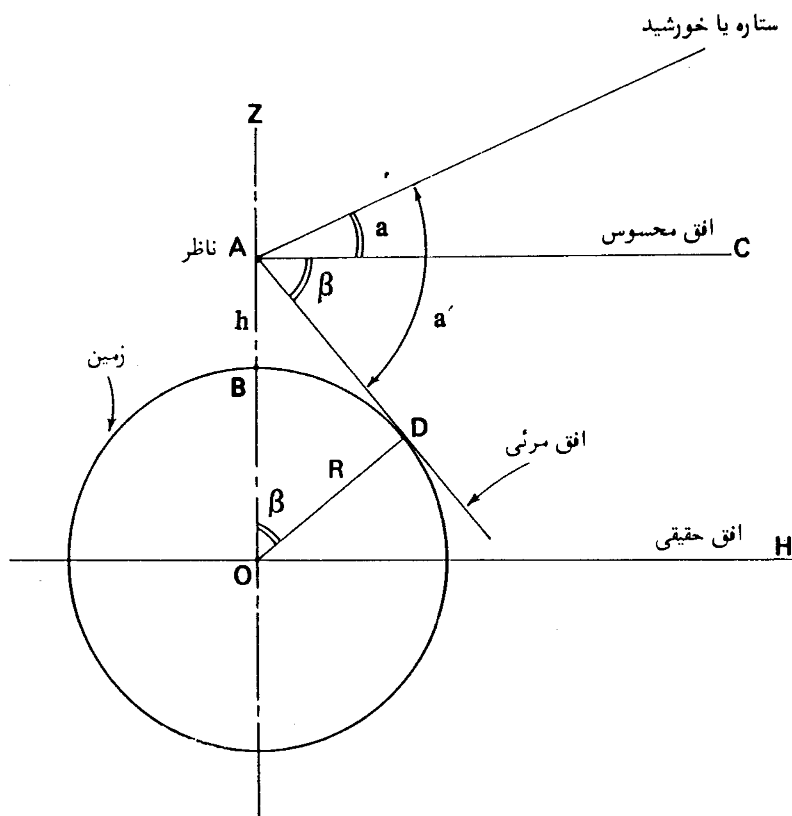
بسادگی می‌توان نوشت،

$$BO = R \qquad ; \qquad AO = (R+h)$$

1. Variable Refraction

$$AD = \sqrt{(R+h)^{۲} - R^{۲}}$$

$$\tan\beta = \frac{AD}{OD} = \frac{\sqrt{(R+h)^{۲} - R^{۲})}}{R}$$




**شکل (۵۳-۶) — تصحیح شیب افق.**

$$\tan\beta = \sqrt{\frac{h(۲R+h)}{R^{۲}}} \qquad (۶\text{-}۲۷)$$

و یا به‌طور تقریبی

(۶-۲۸)

$$\tan\beta=\sqrt{\frac{2h}{R}}$$

اگر β کوچک باشد، ممکن است نوشت،

$$\tan\beta=\beta \text{ (برحسب رادیان)}=\sqrt{\frac{2h}{R}}$$

امّا،

$$\text{یک رادیان}=3438'$$

و

$$R=2,090,000 \text{ فوت}$$

$$\text{(برحسب دقیقه)}\quad \beta=\sqrt{\frac{2h}{20,090,000}}\times 3438'$$

و یا تقریباً

$$=1/064\sqrt{h}$$

(۶-۲۹)

$$\text{(برحسب دقیقه)}\quad \beta\simeq\sqrt{h}$$

که h ارتفاع برحسب فوت است.

بنابراین شیب افق برحسب دقیقه، تقریباً برابر جذر ارتفاع ناظر برحسب فوت است. تصحیح مربوط به‌شیب افق، می‌بایست همیشه از ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری کسر گردد.

**۴. تصحیح نیم‌قطر**[1]: نیم‌قطرِ خورشید و یا یک‌ستاره، عبارت از نصف زاویه‌ای است که تحت آن می‌توان خورشید و یا ستاره را از مرکز زمین، مشاهده کرد.

از آنجایی که قرص خورشید بزرگ است، لذا رصد مرکز آن مستقیماً، نمی‌تواند بطور دقیق صورت پذیرد و معمولا خط روی عدسی دستگاه[2] (خط چلیپا) برکنار تصویر خورشید، مماس می‌گردد. وقتی که خط افقی عدسی، بر لبهٔ پایینی قرص خورشید مماس است، اصطلاحاً گفته می‌شود که رصد در لبهٔ پایینی[3] قرص خورشید صورت گرفته است، شکل (۶-۵۴)—الف. به‌همین صورت وقتی که خط افقی عدسی برلبهٔ بالایی خورشید

1. Semi-Diameter 2. Cross Hair 3. Lower Limb

مماس گردد، گفته می‌شود که رصد، در لبهٔ بالایی[1] قرص خورشید صورت گرفته است، (شکل ۶ـ۵۴) ـ ب. شکلهای (۶ـ۵۴) ـ ج و (۶ـ۵۴) ـ د، نمایانگر رصد خورشید در لبهٔ طرف راست (شرقی)[2] و لبهٔ طرف چپ (غربی)[3] آن هستند.

تصحیح نیم‌قطر، درصورتی که رصد برای دو لبهٔ مقابل خورشید صورت بگیرد و معدل آن گرفته شود، دیگر لازم نیست.

در شکل (۶ـ۵۵)، OA شعاع نورانی مربوط به‌لبهٔ پایینی قرص خورشید و $a_1$ ارتفاع مشاهده شدهٔ مربوط به‌آنست. اما ارتفاع صحیح خورشید مربوط به‌مرکز قرص آن یعنی a است که $a_1$ کوچکتر از a است. به‌همین ترتیب OB شعاع نورانی مربوط به‌لبهٔ بالایی قرص خورشید و $a_2$ ارتفاع مشاهدهٔ شدهٔ مربوط به‌آنست که از a بزرگتر است. اگر نیم‌قطر خورشید، مطابق شکل، برابر $\frac{y}{2}$ باشد، خواهیم داشت:

$$a = a_1 + \frac{y}{2} = a_2 - \frac{y}{2} \qquad (۶ـ۳۰)$$

اگر فاصلهٔ مرکز زمین از مرکز خورشید، برابر D ، یعنی (OC = D)، و r شعاع قرص خورشید (AC = r) باشد، خواهیم داشت:

$$\sin\frac{y}{2} = \frac{r}{D}$$

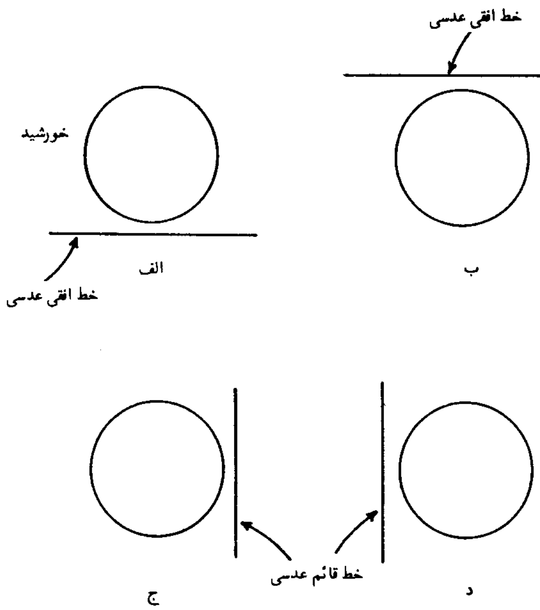
$$\frac{y}{2} = \frac{r}{D} \quad \text{برحسب رادیان} \qquad (۶ـ۳۱)$$

مسلم است که مقدار این تصحیح، بستگی به‌وضعیت زمین بر روی مدار آن دارد. ازآنجایی که فاصلهٔ زمین از خورشید در تمام طول سال یکسان نیست، لذا نیم قطر از ۱۵ دقیقه و ۴۶ ثانیه درماه ژوئیه تا ۱۶ دقیقه و ۱۸ ثانیه در ماه ژانویه تغییر می کند و مقدارآن در متوسط فاصلهٔ زمین ازخورشید، ۱۶ دقیقه و ۱/۱۸ ثانیه است. در جداول نجومی، مقادیر تصحیح نیم قطر برای خورشید در روزهای مختلف سال داده شده است.

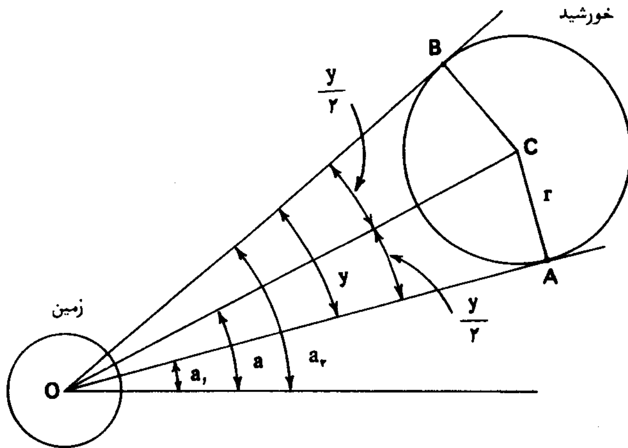
بنابراین اگر در موقع اندازه‌گیری ارتفاع خورشید، لبهٔ پایینی آن در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، به‌آن اضافه و درصورتی که لبهٔ بالایی خورشید در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر ازآن کم می‌گردد.

در اندازه‌گیری زوایای افقی، درصورتی که لبهٔ شرقی و یا لبهٔ غربی قرص خورشید در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، برابر زاویه‌ای خواهد بود که نیم‌قطر خورشید در

1. Upper Limb 2. Right (East) Limb 3. Left (West) Limb




**شکل (۶ـ۵۴) — چگونگی مشاهدهٔ خورشید نسبت به خطهای قائم و افقی عدسی دستگاه.**




**شکل (۶ـ۵۵) — تصحیح نیم قطر.**

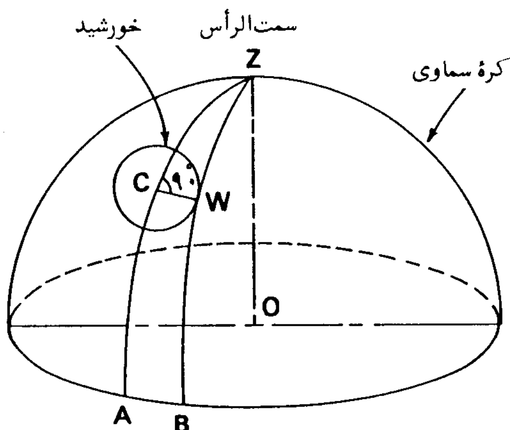
سمت‌الرأس، تحت آن قرار می‌گیرد. مقدار تصحیح نیم‌قطر، چنانکه خواهد آمد، برابر با

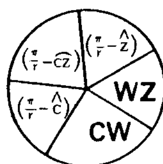
حاصلضرب کمان نیم‌قطر خورشید و سکانت ارتفاع مرکز خورشید است.

در شکل (۶ـ۵۶)، C مرکز قرص مدور خورشید و Z سمت‌الرأس است. دایرهٔ ارتفاعِ (عمودی) نقطهٔ C و دایرهٔ ارتفاعِ لبهٔ غربی قرص خورشید در شکل رسم شده است. در نتیجه، تصحیح مربوط به‌نیم‌قطر، زاویه‌ای است که تحت آن قطر CW از نقطهٔ Z (سمت‌الرأس) دیده می‌شود، یعنی زاویهٔ $\widehat{WZC}$. مقدار این تصحیح، از حل روابط مثلث کروی قائم‌الزاویهٔ ZCW، با بکار بردن قاعدهٔ نِپِر، محاسبه می‌شود، لذا خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{CW} = \cos\left(\frac{\pi}{۲} - \widehat{CZ}\right)\cos\left(\frac{\pi}{۲} - Z\right.$$

$$= \sin CZ \sin Z$$




**شکل (۶ـ۵۶)ــ تصحیح نیم قطر در سمتِ خورشید.**

اما اندازه‌های کمان CW و زاویهٔ Z، مقادیر کوچکی هستند و می‌توان نوشت:

$$\widehat{CW} = (\sin \widehat{CZ}) \times Z$$

و یا

$$Z = \frac{\widehat{CW}}{\sin\widehat{CZ}} = \widehat{CW} \times cosec\ \widehat{CZ}$$

$$= \widehat{CW} \times sec\ a \qquad (۶-۳۲)$$

که در آن a ارتفاع مرکز خورشید است. دیده می‌شود که این فرمول، همان مطلب قبلی است که در ابتدای امر به‌آن اشاره شد.

## ۶۸. خورشید نیمهٔ شب[1]

در عرض جغرافیایی منطقهٔ معتدلهٔ شمالی، خورشید همیشه در طول روز دیده می‌شود و مابقی بیست‌وچهار ساعتهٔ شبانه‌روز، از دیده پنهان است. اما در منطقهٔ منجمدهٔ شمالی، در شمال مدار شمالگان (مدار ۶۶/۵۵ درجهٔ شمالی) و در منطقهٔ منجمدهٔ جنوبی، در جنوب مدار جنوبگان (مدار ۶۶/۵۵ درجهٔ جنوبی) طلوع و غروب خورشید به‌گونهٔ دیگری است؛ بدینترتیب که در طول روزِ بلندمدتِ قطبی، خورشید در بیست و- چهار ساعت، یک شبانه‌روز بطور مداوم در پهنهٔ آسمان است، و اصطلاح خورشید نیمهٔ شب نیز به همین مطلب اطلاق می‌شود. از آنجایی که مسیر حرکت سالانهٔ ظاهری خورشید به‌دور زمین بر روی کرهٔ سماوی (دایرةالبروج) نسبت به‌سطح استوای سماوی متمایل است، لذا فاصلهٔ زاویه‌ایِ خورشید از قطب‌شمال سماوی (متمم میل)، در طول سال، متغیر است. در نقطهٔ انقلاب زمستانی، فاصلهٔ زاویه‌ای خورشید از قطب شمال سماوی بیشترین مقدار و برابر $۱۱۳^\circ/۴۵$، در نقاط اعتدالین برابر $۹۰^\circ$ و در انقلاب تابستانی کمترین مقدار و برابر $۶۶^\circ/۵۵$ است. چنانکه متمم میل یک جرم سماوی، کمتر از عرض جغرافیایی ناظری باشد، آن جرم سماوی غروب نمی‌کند و بین نقطهٔ قطب شمال سماوی و افق ناظر، در حال حرکت خواهد بود؛ چنین ستاره‌ای برای آن ناظر، ستارهٔ دور قطبی[2] نامیده می‌شود. بنابراین در یک نقطه، با عرض جغرافیایی مشخص، مادامی که متمم میل خورشید کمتر از عرض جغرافیایی است، خورشید غروب نداشته و در بالای افق باقی خواهد ماند. برای محلی بر روی دایرهٔ شمالگان ($\varphi =$

1. Midnight Sun 2. Circumpolar Star

۵۵/ °۶۶)، خورشید نیمهٔ‌شب، فقط یک‌شب در سال و در نقطهٔ انقلاب تابستانی وجود خواهد داشت؛ در دایرهٔ جنوبگان، این مطلب در نقطهٔ انقلاب زمستانی واقع می‌شود. در نقطهٔ شمال زمین، خورشید ۶ ماه از سال در پهنهٔ آسمان و ۶ ماه دیگر زیر افق است. در عرض جغرافیایی ۷۰ درجهٔ شمالی خورشید بمدت دو ماه، و در عرض جغرافیایی ۷۸ درجهٔ شمالی، بمدت ۴ ماه، غروب ندارد.

بعلت شکست نور خورشید در جوّ زمین، خورشید ممکن است در زمانی کاملا زیر افق باشد، امّا به‌چشم ناظر، در بالای افق بنظر برسد. با توجه به‌این مطلب و همچنین اندازهٔ ظاهری قرص خورشید در آسمان، طول مدتهای داده شده در فوق، اندکی تغییر می‌یابد. تمام خورشید و یا قسمتی از قرص آن، در عرضهای جغرافیایی ۷۰ درجه، ۷۸ درجه و ۹۰ درجهٔ شمالی به‌ترتیب به‌مدت ۷۳ روز، ۱۲۸ روز و ۱۹۲ روز در بالای افق قرار دارد. دیده می‌شود که مدتها، اندکی بیشتر از مدتهای داده شدهٔ قبلی است. مدتهای مشابه، برای عرضهای مشابه جنوبی، قابل مقایسه با آنها هستند اما دقیقاً برابر نمی‌باشند، چه، سرعت مداری زمین به‌دور خورشید در نزدیکی حضیض، در حوالی چهارم، ژانویه، بیشتر از نقطهٔ اوج آنست. این بدان معنی است که مدت بودن خورشید در جنوب دایرهٔ استوا، کمتر از مدت بودن آن در شمال دایرهٔ استواست. لذا برای عرضهای جغرافیایی مشابه در نیمکره‌های شمالی و جنوبی، طول مدت زمان خورشید نیمهٔ شب در نیمکرهٔ شمالی، بیشتر از نیمکرهٔ جنوبی است. مطلب خورشید نیمهٔ شب در فصل پنجم کتاب نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

## فصل هفتم

# زمان

در فصول قبلی در بسیاری از موارد، با اصطلاحاتی مانند وقت شمسی حقیقی (ظاهری)، وقت شمسی متوسط، تعدیل زمان (معادلهٔ زمان) و غیره... برخورد شد. همچنین رابطهٔ (۳-۱) در فصل اوّل برای تبدیل وقت استاندارد به‌وقت شمسی حقیقی، داده شد. در این فصل، موضوع زمان و وقت مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در فهم آنچه که قبلا داده شده است، مؤثر باشد.

## ۱. زمان

طول‌مدت سپری شده بین دو لحظه و یا دو رویداد، به‌زمان، موسوم است. ابزاری مانند انواع ساعت و کرونومتر (زمان‌سنج) برای اندازه‌گیری طول مدت زمانِ سپری شده بین دو رویداد در دو لحظهٔ وقوع آنهاست.

## ۲. اندازه‌گیری و تعیین زمان

در شرح یک واقعه، می‌بایست مبدء زمانی اتفاق آن، و مدتی که واقعه، بطول انجامیده معین گردد. بنابراین ثبت زمان، شامل دو پدیده است، یکی مبدء زمانی[1] رویداد که لحظهٔ شروع آن را معلوم می‌کند و دیگری فاصله[2]، که نمایانگر فاصلهٔ زمانی بین شروع و خاتمهٔ رویداد است. در کارهای روزانه، عملیات دریانوردی[3]، عملیات زمین پیمایی[4] و تعقیب قمرهای مصنوعی[5]، مبدء زمانی مطرح می‌شود در حالیکه

1. Epoch 2. Interval 3. Navigation 4. Geodetic Surveying
5. Satellite Tracking

در فیزیک فقط فاصلهٔ زمانی مطرح است.

## ۳. مقیاسهای زمان[1]

در علم اندازه‌گیری زمان، به‌مقیاسهای زمان نیاز پیدا می‌شود تا بتوان بوسیلهٔ آنها رویدادها و فاصله های زمانی[2] را سنجید. هر رویداد فیزیکی قابل تکرار را می‌توان برای اندازه‌گیری گذشت زمان بکار گرفت. البته باید این اطمینان وجود داشته باشد که تکرار رویداد، در فواصل زمانی کاملا مساوی صورت می‌پذیرد. زمان تکرار یک رویداد فیزیکی را دوره[3]، نامند. بنابرین رویدادی راکه دارای دورهٔ ثابت باشد، می‌توان برای اندازه‌گیری زمان بکار برد. پدیده‌هایی که کم و بیش دارای این خاصیت هستند، عبارتند از ضربان نبض[4] و یا هر ضربان تناوبی، حرکت دورانی زمین حول محورش، نوسان پاندول و ارتعاش الکترونها در اتم. وقتی که یک اتم و یا مولکول از یک حالت انرژی بالا[5] به یک حالت انرژی کمتر می‌رسد، تشعشع الکترومغناطیسی[6] ایجاد می‌گردد. در حقیقت هر کدام از این پدیده‌ها، در سنجش زمان بکار گرفته شده است. مقیاسهای مختلف برای منظورهای گوناگون، بکار می‌روند. زمانی که بر مبنای حرکت دورانی زمین حول محورش، استوار است، زمان دورانی[7] نامیده می‌شود. وقتِ تقویمی یا وقتِ جدول نجومی[8]، بوسیلهٔ حرکت گردشی زمین به‌دور خورشید تعریف شده و زمانی است که در مکانیک سماوی[9] بکار می‌رود. زمان اتمی[10] از کارکرد ساعت اتمی، بدست آمده است.

قبلا زمان دورانی و یا وقتِ شمسی متوسط[11]، هم برای ثبت مبدء زمانی، و هم برای اندازه‌گیری واحد فاصلهٔ زمانی، یعنی ثانیه، بکار گرفته می‌شد. امّا بعداً روشن شد که سرعت دورانی زمین برحسب وقت تقویمی و زمان اتمی، متغیر است. در نتیجه، در سال ۱۹۵۶، ثانیهٔ شمسی متوسط[12] جای خود را به‌ثانیهٔ تقویمی[13] داد. ثانیهٔ تقویمی نیز درسال ۱۹۶۷ توسط ثانیهٔ اتمی[14] جایگزین گردید.

روش اندازه‌گیری زمان که فعلا بکار می‌رود، برای مبدء زمانی بر مبنای وقت

1. Time Scales 2. Time Intervals 3. Period 4. Pulse Beat
5. Higher Energy State 6. Electromagnetic Radiation
7. Rotational Time 8. Ephemeris Time 9. Celestial Mechanics
10. Atomic Time 11. Mean Solar Time 12. Mean Solar second
13. Ephemeris second 14. Atomic second

شمسی متوسط و برای فاصلهٔ زمانی برمبنای زمان اتمی است. در ادامهٔ مطلب مقیاسهای مختلف زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۴. وقتِ نجومی[1]

در سنجش زمان، زمانهای دورانی مختلفی بکار گرفته می‌شود. زمان دورانی که در نجوم مورد عمل قرار می‌گیرد، وقتِ نجومی است.

چنانکه همگان می‌دانند، زمین حول محور خود دارای حرکتی دورانی است. ممکن است حرکت دورانی زمین، یک حرکت کاملا منظم فرض شود. مدتها، این فرض کاملا صحیح انگاشته می‌شد و سرعت حرکت دورانی زمین را کاملا ثابت می‌گرفتند. امّا سرعت حرکت دورانی زمین مطلقاً ثابت نیست. در تعریف وقتِ نجومی، حرکت دورانی زمین، کاملا منظم فرض شده و سرعت آن مطلقاً ثابت گرفته می‌شود.

در اثر حرکت دورانی زمین حول محورش، چنین بنظر می‌رسد که ستارگان، یک دور کامل را حول قطب سماوی، در یک مدت زمان ثابت، نسبت بطول مدت حرکت دورانی زمین، طی می‌کنند و خود زمین بصورت ثابت بنظر می‌رسد. حرکت دورانی ستارگان حول قطب سماوی، به‌نام حرکت دورانی ظاهری[2] نامیده می‌شود. اطلاق کلمهٔ ظاهری بدان سبب است که درحقیقت، زمین ثابت نیست و در اثر حرکت دورانی که دارد، ستارگان ظاهراً به‌دور قطب سماوی می‌گردند.

از آنجایی که حرکت دورانی زمین به‌دور محورش منظم و با سرعتی ثابت فرض شد، لذا حرکت دورانی و ظاهری ستارگان به‌دور قطب سماوی نیز منظم و با سرعتی ثابت فرض می‌شود. این حرکت یکنواخت ستارگان وسیلهٔ خوبی برای اندازه‌گیری زمان است.

دورهٔ یک دور کامل ستارگان، حول قطب سماوی، به‌نام روز نجومی[3] معروف است. ریشهٔ لغت انگلیسی روز نجومی، از یک لغت لاتینی[4] به‌معنای ستاره[5] گرفته شده است. روز نجومی، در حقیقت طول مدتی است که زمین یک دور کامل حول محورش می‌گردد. عملا حرکت دورانی هیچ ستاره‌ای حول قطب سماوی، بعنوان تعیین روز نجومی، در نظر گرفته نمی‌شود. ستارهٔ مبنا، یک‌ستارهٔ فرضی[6]، یعنی نقطهٔ اعتدال بهاری

1. Sidereal Time 2. Apparent Revolution 3. Sidereal Day
4. Sidus 5. Star 6. Hypothetical Star

و وقت نجومی نسبت به‌ستارهٔ فرضیِ واقع در این نقطه، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین روز نجومی را بعنوان فاصلهٔ زمانی بین دو عبور پیاپیِ نقطهٔ اعتدال بهاری از همان نصف‌النهار، نیز تعریف می‌کنند. یک روز نجومی به ۲۴ قسمت برابر به‌نام ساعت نجومی[1] تقسیم شده و هر ساعت نجومی ۶۰ دقیقهٔ نجومی[2] و هر دقیقهٔ نجومی ۶۰ ثانیهٔ نجومی[3] است. در یک محل، یک ساعت نجومی[4] بدینترتیب میزان می‌شود: باید بهنگام عبور نصف‌النهار محل از نقطهٔ اعتدال بهاری، ساعت نجومی صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه را نشان دهد و بعد از گذشت ۲۴ ساعتِ نجومی، بوقت عبور مجدد نصف‌النهار محل از نقطهٔ اعتدال بهاری، ساعت دوباره صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه را نشان دهد.

از آنجایی که زمین در ۲۴ ساعتِ نجومی، نسبت به‌یک‌ستارهٔ ثابت، ۳۶۰ درجه به‌دور خود می‌چرخد، نتیجه می‌شود که اختلاف ۱۵ درجهٔ طول جغرافیایی برابر یک ساعت نجومی و هر ۱۵ دقیقهٔ قوسی، برابر یک دقیقهٔ نجومی و هر ۱۵ ثانیهٔ قوسی مساوی یک ثانیهٔ نجومی است. اگر دو محل، بر روی یک نصف‌النهار واقع باشند، ساعتهای نجومی قرارگرفته در آنها، در هر لحظه، وقتی یکسان را نشان خواهند داد. اما اگر محلی مانند نقطهٔ A بر روی یک نصف‌النهار و محلی دیگر مانند نقطهٔ B، ۱۵ درجه در مغربِ نصف‌النهارِ محلِ A باشد، ساعتهای نجومیِ قرارگرفته در نقاط A و B یک‌ساعت نجومی اختلاف وقت نشان خواهند داد. یعنی مثلا اگر ساعت نجومیِ قرار گرفته در A، ساعت ۱۰ نجومی را نشان دهد، ساعت نجومی واقع در B، در مغرب A، ساعت ۹ نجومی را نشان خواهد داد. اگر نقطهٔ B، ۱۵ درجه در مشرق نصف‌النهار بود، ساعت نجومی واقع در آن ساعت ۱۱ نجومی را نشان می‌داد. برای دو نقطه که بر روی یک‌دایرهٔ عظیمه‌ای که از دو قطب می‌گذرد و در دو طرف قطب قرار گرفته باشند، ساعت نجومی آنها ۱۲ ساعت اختلاف، نشان خواهد داد.

دیدیم که برحسب تعریف، روز نجومی عبارت از یک گردش کامل زمین به‌دور محورش نسبت به‌یک ستارهٔ ثابت است. مشاهده شده است، چنانکه نقطهٔ مبنا بجای یک ستارهٔ ثابت، نقطهٔ اعتدال بهاری باشد، طول روز نجومی نسبت به‌حالت یک ستارهٔ ثابت فرق دارد. اگر وضعیت نقطهٔ اعتدال بهاری نسبت به‌ستارگان ثابت، خود ثابت می‌بود، قطعاً طول روز نجومی در هر دو حالت یکی می‌شد. اما چنانکه در فصل ششم

1. Sidereal Hour 2. Sidereal Minutes 3. Sidereal second
4. Sidereal Clock

توضیح داده شده، نقطهٔ اعتدال بهاری خود دارای حرکت تقدیمی است و نقطهٔ ثابتی نمی‌باشد. حرکت نقطهٔ اعتدال بهاری یک حرکت آرام و متغیر بطرف مغرب است. طول مدت یک دور زمین نسبت به‌نقطهٔ اعتدال بهاری در حدود ۰/۰۱ ثانیه از طول مدت یک دور کامل آن (نسبت به‌یک ستارهٔ ثابت) کمتر است.

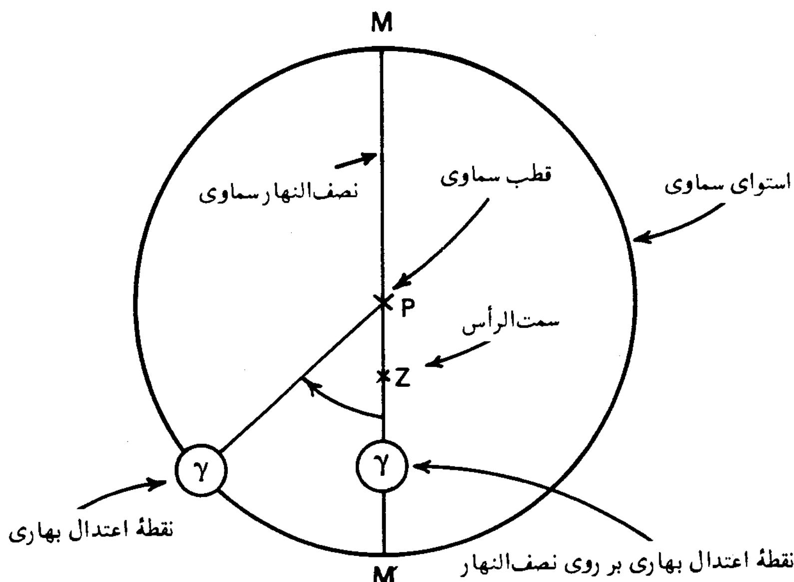
روز نجومی، از واحدهای اصلی زمان در نجوم است و در اینجا فقط به‌منظور بهتر فهمیدن سایر واحدهای زمان، توضیح داده شده است.

## ۵. وقت نجومی محلی[1]

توضیح داده شد، زمانی که نقطهٔ اعتدال بهاری بر روی نصف‌النهار سماوی محلی قرار می‌گیرد، ساعتِ نجومیِ قرارگرفته در آن، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیهٔ نجومی را نشان خواهد داد. لحظهٔ عبور نصف‌النهار سماوی از نقطهٔ اعتدال بهاری را اصطلاحاً ظهر نجومی[2] نامند. در سایر اوقات، وقت نجومی محلی یک نقطه، برحسب زمان نجومیِ گذشته از لحظهٔ عبور نصف‌النهار سماوی آن از نقطهٔ‌اعتدال بهاری، بیان می‌گردد.

در شکل (۱ـ۷)، کرهٔ سماوی بنحوی که از طرف قطب سماوی دیده می‌شود، نشان داده شده است. نقطهٔ P ، قطب سماوی و Z سمت‌الرأس و خط MPZM′ نصف ـ النهارسماوی نقطه‌ای مانند A است. در حالت اوّل نقطهٔ اعتدال بهاری بر روی نصف‌ـ النهار مکان قرار گرفته که در آن لحظه ساعتِ نجومی، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیهٔ نجومی را نشان خواهد داد. وقتی که در اثر حرکت دورانی زمین، نقطهٔ اعتدال بهاری باندازهٔ کمان $\widehat{M'\gamma}$ به‌سمت مغرب تغییر مکان می‌دهد، ساعت نجومی محل A از تبدیل قوس $\widehat{M'\gamma}$ (برحسب درجه) به‌ساعت نجومی، از قرار هر ۱۵ درجه برابر یک ساعت نجومی، بدست خواهد آمد. بنابراین اگر دو محل، مانند A و B بر روی دو نصف‌النهار مختلف قرار بگیرند و وقت نجومیِ یکی از آنها مثلا محل A معلوم باشد، از روی اختلاف طول جغرافیایی آنها می‌توان وقت نجومی محل B را معین کرد. در اینصورت اختلاف طول جغرافیایی را به‌زمان نجومی تبدیل و از وقت محل A کم و یا به‌آن اضافه می‌کنیم، اگر محل B در مغرب محل A باشد زمان نجومی بدست آمده (معادل اختلاف طولهای جغرافیایی) از وقت نجومی محل A کسر و چنانکه محل B در

1. Local Sidereal Time　　2. Sidereal Noon




**شکل (۱-۷)ـ عبور نصف‌النهار سماوی یک نقطه از نقطهٔ اعتدال بهاری.**

مشرق محل A باشد، به‌آن اضافه می‌گردد. برای مثال: وقتی که نقطهٔ اعتدال بهاری بر روی نصف‌النهار گرینیچ در انگلستان قرار می‌گیرد، دیگر، بر روی‌نصف‌النهار شهر واشنگتن دی‌سی[1] (غربی $\lambda_W = 77^\circ$) قرار نخواهد داشت. نقطهٔ اعتدال بهاری، زمانی بر روی نصف‌النهار واشنگتن قرار خواهد گرفت که زمین، باندازهٔ ۷۷ درجه و یا معادل ۵/۱۳ ساعت دوران کند. وقتی که نقطهٔ اعتدال بهاری از نصف‌النهار سماوی واشنگتن عبور می‌کند، ساعت نجومیِ قرار گرفته در گرینیچ، وقت ۵ ساعت و ۷ دقیقه و ۴۸ ثانیهٔ نجومی را نشان خواهد داد، در حالیکه ساعت نجومی قرار گرفته در واشنگتن دی‌سی، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را معلوم خواهد کرد. چون طول جغرافیایی گرینیچ صفر درجه است، نتیجه می‌شود که طول جغرافیایی هر محلی بر روی زمین، برابر اختلاف وقتِ نجومیِ گرینیچ و آن محل است. این در حقیقت همان روش تعیین طول جغرافیاییِ مذکور در فصل اوّل در بخش (۱ــ۵) است.

با راه ساده‌ای می‌توان وقت نجومی را به‌بُعد و زاویهٔ ساعتی ارتباط داد. چنانکه

1. Washington D. C.

تعاریف بُعد ( .R.A[1] )، زاویهٔ ساعتی ( .H.A[2] ) و وقت نجومی محلی[3] ( L.S.T. ) را در نظر بگیریم، رابطهٔ بین آنها بسادگی معلوم میگردد.

بُعد یک ستاره عبارت از کمانی از استوای سماوی است که بین دو دایرهٔ عظیمه، یکی دایرهٔ اعتدال[4] و دیگری دایرهٔ ساعتی[5] (دایرهٔ میل[6]) قرار گرفته و از نقطهٔ اعتدال بهاری بجهت مشرق اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۲ـ۷)، کمانِ γS ، بُعد ستاره S است. همچنین این کمان برحسب زمان، عبارت از طول مدتی (برحسب ساعت، دقیقه ثانیهٔ نجومی) است که توسط ستارهٔ S طی می‌شود تا بعد از عبور نقطهٔ اعتدال بهاری از نصف‌النهار سماوی محل، از همان نصف‌النهار عبور کند. در نتیجه وقت نجومی محلی برابر با بُعد نصف‌النهار سماوی آنست.

زاویهٔ ساعتی یک‌ستاره، کمانی از استوای سماوی است که بین نصف‌النهار سماوی و دایرهٔ ساعتیِ (میل) عبور کننده از ستاره قرار می‌گیرد و چنانکه از بالای قطب سماوی نگاه شود، به‌جهت مغرب اندازه‌گیری می‌شود. وقتی که بطرف مغرب اندازه‌گیری شود علامت آن مثبت و بجانب مشرق منفی است. در شکل (۲ـ۷)، که به همان صورت شکل (۱ـ۷) در نظر گرفته شده، کمان M'S زاویهٔ ساعتی ستارهٔ S است. این کمان، برحسب زمان برابر مدت زمانی است که از عبور ستاره از نصف‌النهار سماوی مکان سپری شده است (در صورتیکه ستاره در مغرب نصف‌النهار قرار داشته باشد، ستارهٔ S) و یا با طول مدتی که ستاره، برای رسیدن به‌نصف‌النهار لازم دارد، برابر است (در صورتیکه ستاره درمشرق نصف‌النهار قرار داشته‌باشد، ستارهٔ S'). بنابراین وقت نجومی برابر با زاویهٔ ساعتی نقطهٔ اعتدال بهاری از صفرساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه تا ۲۴ ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه، اندازه‌گیری شده بطرف مغرب است.

حال با توجه به‌شکل (۲ـ۷) می‌توان نوشت:

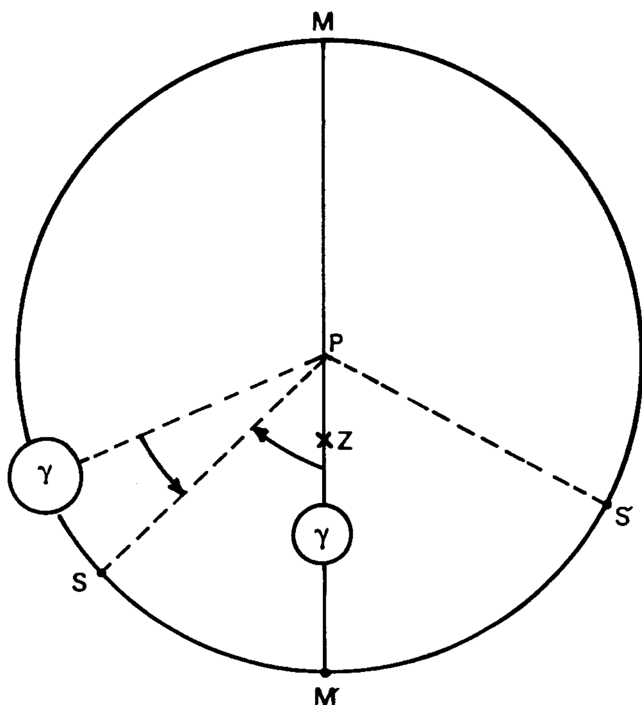
$$\gamma\widehat{M'} = \widehat{\gamma S} + \widehat{SM'}$$

و یا     زاویهٔ ساعتی ستاره + بُعد ستاره = وقت نجومی محلی

همچنین برای ستارهٔ S' در مشرق نصف‌النهار سماوی،

$$\gamma\widehat{M'} = \widehat{\gamma S'} - \widehat{M'S'}$$

1. Right Ascension    2. Hour Angle    3. Local Sideral Time
4. Equinoctial Colure    5. Hour Circle    6. Declination Circle




**شکل (۲-۷)— رابطهٔ بین وقت نجومی محلی، بُعد و زاویهٔ ساعتی.**

و یا

زاویهٔ ساعتی ستاره — بُعد ستاره = وقت نجومی محلی

و به‌طور کلی خواهیم داشت،

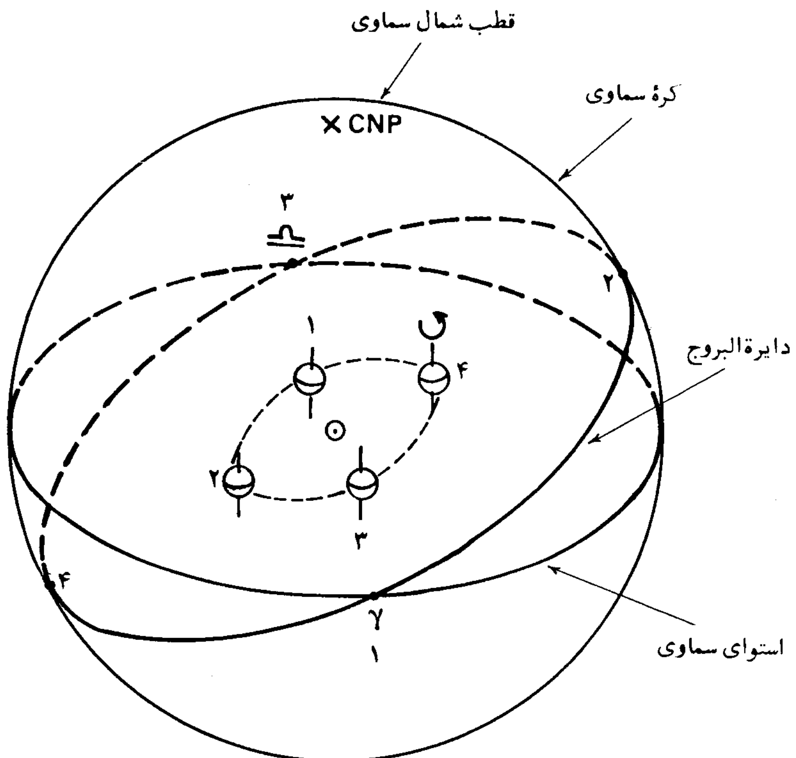
$$L.S.T. = R.A. \pm H.A.\left(\frac{W}{E}\right) \qquad (۷-۱)$$

اگر .R.A کمتر از .H,A باشد ۲۴ ساعت به‌آن اضافه می‌شود. وقتی که ستاره در مغرب نصف‌النهار سماوی باشد علامت .H.A مثبت و زمانی که در مشرق آن باشد، علامتش منفی است.

## ۶. وقت شمسی ظاهری[1] ( حقیقی )

نوع دیگری از زمان دورانی، وقتِ شمسی ظاهری (حقیقی) است. گرچه روش اندازه‌گیری زمان توسط ساعت نجومی، روش مناسبی است، اما مناسب منظورهای عادی زندگی نیست. عادات و قواعد ما برمبنای خورشید استوار است نه برمبنای ستارگان. بعلاوه به‌دلایل عملی، زمان نجومی در زندگی روزمره کاربرد ندارد. بعنوان مثال، یک روز کاری را در ساعت ۶ روز نجومی شروع می کنیم:

در شکل (۳ـ۷) در اوّل پاییز زمین در وضعیت (۳) است و خورشید بر روی




شکل (۳ـ۷) — نشان دادن اینکه وقت نجومی، زمان مناسبی برای زندگی روزمره نمی‌باشد. در وضعیت (۳) در ساعت شش نجومی، خورشید در حال طلوع و نقطهٔ اعتدال بهاری (♈) درحال غروب است، امّا در وضعیت (۳) هم خورشید و هم نقطهٔ اعتدال بهاری در حال غروب‌اند.

1. Solar Apparent Time

استوای سماوی ۱۸۰ درجه یا ۱۲ ساعت از نقطهٔ اعتدال بهاری ($\gamma$) فاصله دارد. در ساعت ۶ نجومی، زاویهٔ ساعتی نقطهٔ اعتدال بهاری، ۶ ساعت (۹۰ درجه) است و درنتیجه، نقطهٔ اعتدال بهاری درحال غروب (حرکت دورانی زمین از مغرب به‌مشرق) است و خورشید که ۱۲ ساعت از نقطهٔ اعتدال بهاری فاصله دارد، درحال طلوع می‌باشد و لذا شروع روز، مطابق معمول، درصبح خواهد بود. امّا ۶ماه بعد، زمین در اوّل بهار در وضعیت ۱ است و درساعت ۶ نجومی، هم خورشید و هم نقطهٔ اعتدال بهاری درحال غروب‌اند. لذا درصورتی که قرار بر این بوده باشد که روز همیشه در در همان ساعت ۶ نجومی آغاز شود، در اینحالت شروع روز در غروب آفتاب خواهد بود. دیده می‌شود که شروع روز، زمانی در صبح و زمانی دیگر در غروب، مناسب نیست. به‌همین علت وقتی که توسط خورشید سنجیده شود، بهتر از سنجش توسط ستارگان، با زندگی روزمره مناسبت دارد.

وقتی که مبنای اندازه‌گیری زمان، خورشید باشد، آن را وقتِ شمسی ظاهری (حقیقی) نامند. زندگی روزمرهٔ ما توسط وقتِ شمسی ظاهری تنظیم می‌شود و وقت نجومی، دراین مورد کاربرد ندارد.

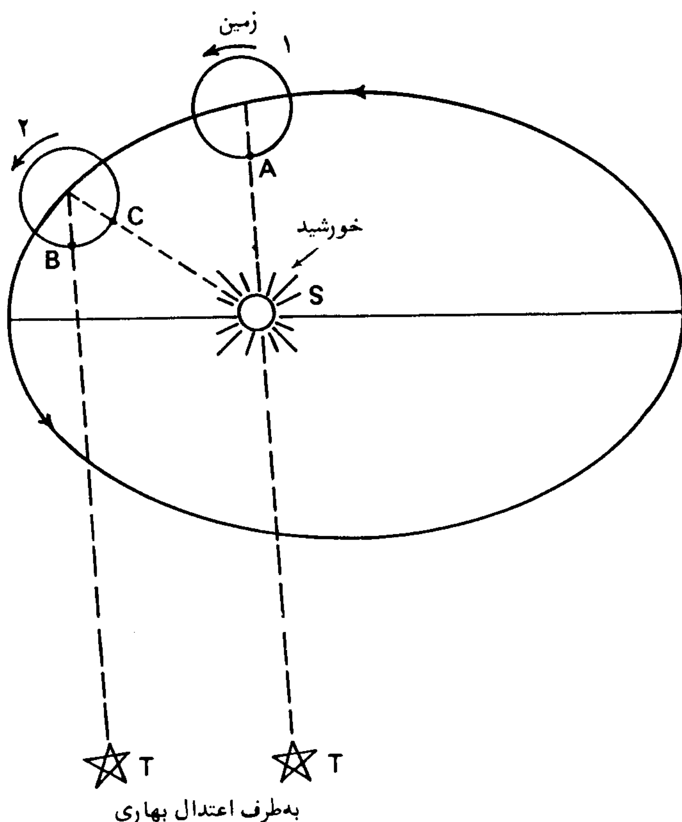
زمانی که مرکز قرص خورشید بر روی نصف‌النهار سماوی محلی قرار می‌گیرد، اصطلاحاً ظهر ظاهری محلی[1] است و در سایر اوقات روز، وقت، توسط زاویهٔ ساعتی خورشید معلوم می‌شود. روز شمسی ظاهری[2] فاصلهٔ دو عبور پیاپی مرکز قرص خورشید از نصف‌النهار سماوی مکان است. وقتی که مرکز قرص خورشید بر روی نصف‌النهار محلی قرار می‌گیرد، ساعت شمسی ظاهری[3]، یعنی ساعتِ خورشیدی[4]، ساعت ۱۲ را نشان خواهد داد و این لحظه، ظهر ظاهری محل است. ساعت خورشیدی، یکی از قدیمی‌ترین ابزارسنجش وقت است و وقت شمسی ظاهری را درمحل، مشخص می‌کند.

متأسفانه، روز شمسی ظاهری، دارای طول زمانی ثابتی نیست و متغیر است. ساختن ساعتی مکانیکی همانند ساعتهای مکانیکی متداول که در لحظهٔ عبور دقیق خورشید از نصف‌النهار محل، درست ساعت ۱۲ ظهر را نشان دهد و یا بتواند وقت شمسی ظاهری را تعیین کند، غیرممکن است. بعداً دلیل تغییر طول مدت روز شمسی ظاهری، خواهد آمد. ابتدا طول مدت یک روز شمسی ظاهری را با یک روز نجومی مقایسه می‌کنیم.

1. Local Apparent Noon
2. Apparent Solar Day
3 Apparent Solar Clock
4. Sundial

طول مدت یک روز شمسی ظاهری، از طول مدت یک روز نجومی بلندتر است. دلیل این مطلب با توجه به‌شکل (۴-۷) مشخص می‌شود. در این شکل، مسیر بیضی‌شکل حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید نشان داده شده که خورشید در نقطهٔ S — یکی از کانونهای بیضی — نمایانده شده است.

ملاحظه کنید که خورشید برای ناظر A در وضعیت شمارهٔ ۱ زمین، درست در بالای سر او قرار دارد. همچنین فرض کنید که بر روی امتداد خط AS، ستاره‌ای ثابت مانند T نیز درست در بالای سر ناظر قرار داشته باشد. می‌دانیم که زمین دارای دو حرکت است، یکی به‌دور محورش و دیگری به‌دور خورشید در امتداد مدار بیضی‌شکل.




**شکل (۴-۷) — مقایسهٔ طول روز شمسی ظاهری و روز نجومی.**

ووقتی که زمین به‌وضعیت ۲ می‌رسد، ناظرA در اثر حرکت دورانی زمین به‌وضعیت B خواهد رسید و این در حالی است که ستارهٔ T بعلت بُعد مسافت، کماکان در بالای سر او خواهد بود؛ بعبارت دیگر بعلت بُعد مسافتِ ستارهٔ T، امتداد BT بموازات امتداد AT است. این لحظه، پایان روز نجومی است که طبق تعریف، فاصله بین دوعبور پیاپی ستارهٔ ثابت (فرض براینست که ستارهٔ ثابت در محل نقطهٔ اعتدال بهاری باشد) از نصف‌النهار محل است. امّا برای پایان یافتن روز شمسی ظاهری، ناظر می‌بایست مدتی صبر کند تا دراثر حرکتهای زمین، طول کمان BC پیموده شود و خورشید مجدداً به‌بالای سر او برسد. درنتیجه، روز شمسی ظاهری باندازهٔ مدت زمان لازم برای پیمودن کمان BC، دراثر حرکتهای زمین، بلندتر است. یعنی برای تعیین روز شمسی ظاهری می‌بایست باندازهٔ مدت لازم در پیمودن کمان BC، بطول روز نجومی اضافه شود.

چنانکه طول روز نجومی را ثابت بگیریم، درصورتیکه طول مدت لازم برای پیمودن کمان BC توسط زمین نیز ثابت باشد، طول روز شمسی ظاهری ثابت خواهد بود. امّا طول مدت لازم برای پیمودن کمان BC، دراثر حرکتهای زمین ثابت نیست. می‌دانیم که مدار حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید یک بیضی با خروج از مرکز[1] بزرگتر از صفر است که این مطلب نتیجهٔ قانون گرانش[2] (قوانین کپلر[3]) است. چنانکه یک شیء بر مداری بیضی‌شکل در حرکت باشد، سرعت حرکتش در طول یک دورهٔ حرکت آن یکنواخت نخواهد بود. وقتی که فاصلهٔ زمین از خورشید کمترین است، یعنی در زمان حضیض، سرعت حرکت آن بیشتر از وقتی است که فاصلهٔ زمین از خورشید بیشترین (نقطهٔ اوج) است. بدینترتیب، وقتی که زمین در نزدیکی حضیض است، بُعد خورشید در امتداد استوای سماوی در اثر حرکت آن به‌سمت مشرق، تقریباً ۱ درجه و ۶/۶ دقیقه در روز تغییر می‌کند، درحالی که در نزدیکی نقطهٔ اوج، حرکت ظاهری آن به‌سمت مشرق تقریباً یک درجه و ۲/۵ دقیقه در روز است. مقدار اختلافِ ۴/۱ دقیقهٔ قوسی، برحسب زمان برابر ۱۶ ثانیه است. به همین سبب طول روز شمسی ظاهری، باندازهٔ ۱۶ ثانیه درماه ژانویه (زمان حضیض) و ژوئیه (زمان اوج) تغییر می‌کند. در نتیجه، زمان لازم برای پیمودن کمان BC که باید به‌روز نجومی اضافه شود تا روز شمسی ظاهری بدست آید، یکسان نیست. این نخستین دلیل یکنواخت نبودن روزهای شمسی ظاهری است.

دلیل دیگر غیر یکنواختی روزهای شمسی ظاهری، تمایل ۲۳/۴۵ درجه‌ای

1. Eccentricity 2. The Law of Gravitation 3. Kepler's Law

صفحهٔ استوای زمین، نسبت به‌صفحهٔ مدار حرکت زمین بدور خورشید یعنی تمایل دایرةالبروج[1] است. حتی اگر مدار حرکت انتقالی زمین به‌دور خورشید دایره‌ای شکل بود، یعنی اینکه سرعت حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرةالبروج بطرف مشرق یکسان‌می‌بود، باز هم زمان بین دو عبور پیاپی خورشید از نصف‌النهار، یکسان نمی‌شد، زیرا افزایش زمان[2] درامتداد استوای سماوی درنظر گرفته می‌شود، درحالی که تغییر وضعیت خورشید، بر روی دایرةالبروج سنجیده می‌شود. تصور کنید که خورشید با حرکتی یکنواخت بر روی دایرةالبروج باندازهٔ یک درجه در روز بطرف مشرق حرکت کند. در روز اوّل بهار، خورشید در نقطهٔ اعتدال بهاری (وضعیت ۱ درشکل (۳ـ۷)) خواهد بود. روز بعد باندازهٔ یک درجه، درامتداد دایرةالبروج به‌نقطه‌ای بالاتر از دایرهٔ استوای سماوی می‌رسد و زمین باید علاوه بر دور ۳۶۰درجه‌ای، معادل‌فاصلهٔ زاویه‌ای یک‌درجه‌ای‌برروی دایرةالبروج‌را، برروی استوای سماوی،طی کند.تصویراین فاصله بر روی دایرهٔ استوای سماوی، همان یک درجه نیست و بلکه ۰/۹ درجه و یا ۵۵ دقیقه است. این مطلب در فصل چهارم در مثال (۶ـ۴)، محاسبه شده است. لذا روز شمسی ظاهری در فاصلهٔ روز اوّل تا دوّم بهار معادل دور ۳۶۰درجه‌ای زمین بعلاوهٔ دورمداری ۵۵دقیقه‌ای آنست، شکل (۵ـ۷) الف.

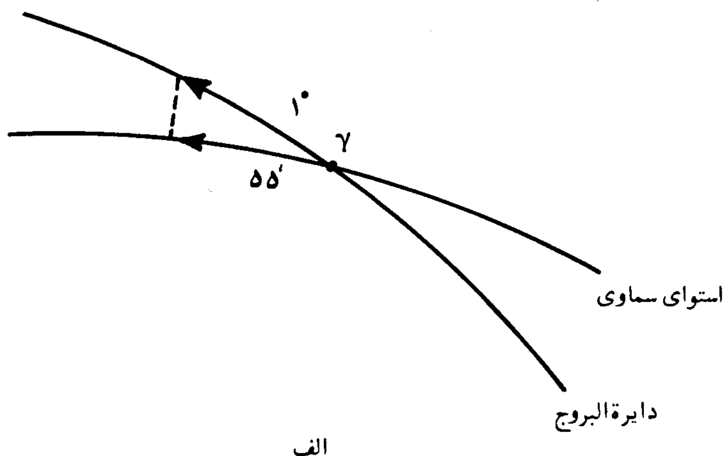
سه ماه بعد در نقطهٔ انقلاب تابستانی—وضعیت ۲ در شکل (۳ـ۷)ـ حرکت یک درجه‌ای روزانهٔ خورشید بر مسیر دایرةالبروج، برابر همان یک درجه بر روی دایرهٔ استوای سماوی است، شکل (۵ـ۷) ب.

درنتیجه، یک روز شمسی ظاهری معادل یک دور ۳۶۰ درجه‌ای زمین بعلاوهٔ یک‌دورمداری ۶۰دقیقه‌ای‌آنست. بنابراین تفاوت‌بین‌روزهای‌شمسی ظاهری در فاصلهٔ روز اوّل تا دوّم بهار و اوّل تا دوّم تابستان، حدود ۵ دقیقهٔ قوسی (۵َ = ۵۵ـــ ۶۰) و یا بطور تقریب ۲۰ ثانیه است.

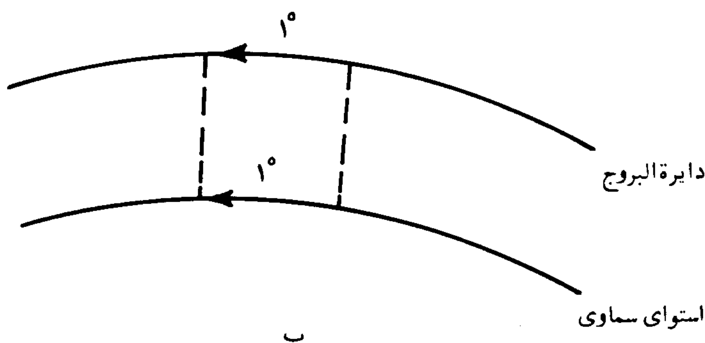
## ۷. وقتِ ظاهری‌محلی[3]

چنانکه وقت، وسیلهٔ وقتِ شمسی ظاهری سنجیده شود؛ بعبارت دیگر زاویهٔ ساعتی خورشید در سنجش زمان مورد عمل باشد، درصورتی دو نقطه دارای وقت یکسان خواهند بود که هردو بر روی یک نصف‌النهار قرار بگیرند و یکی مستقیماً در

1. Obliquity of the Ecliptic 2. Increment in Time 3. Local Apparent Time




الف




ب

**شکل (۵-۷)— حرکت ظاهری خورشید بر روی دایرةالبروج بطرف مشرق، و تصویر آن بر دایرهٔ استوای سماوی. قسمت (الف) مربوط به‌فاصلهٔ روز اوّل تا دوّم بهار و قسمت (ب) مربوط به‌فاصلهٔ روز اوّل تا دوّم تابستان است. در هردو مورد فرض شده است که خورشید، یک درجه را بر روی دایرةالبروج در یک روز طی کند. تصویر میزان مسیر طی‌شده بر روی دایرهٔ استوای سماوی، درحدود ۵۵′ در فاصلهٔ روز اوّل تا دوّم بهار و برابر همان یک درجه در فاصلهٔ روز اوّل تا دوّم تابستان است. این مطلب موجب نابرابری روزهای شمسی ظاهری است.**

شمال دیگری قرار داشته باشد. بدینترتیب وقت، محلی می‌باشد و فقط برای نصف‌النهار

معینی است و از آنجایی که این وقت براساس حرکت ظاهری خورشیداست، آن را وقتِ ظاهری محلی ( .L . A . T) می‌نامند. قبلا هم توضیح داده شده که ظهر ظاهری محلی[1]، لحظه‌ای است که مرکز قرص خورشید از نصف‌النهار محل، عبور می‌کند و این در حقیقت همان ظهر شرعی است.

وقت ظاهری محلی، همان وقتی است که توسط ساعت خورشیدی[2] معین می‌شود که تا حدود یک قرن پیش تقریباً در سطح دنیا برای سنجش وقت بکار می‌رفت. امّا ساعت خورشیدی، بعلت دو نقیصهٔ مهم، توسط انواع دیگر وسایل سنجشِ وقت، جایگزین گردید. یکی از دو نقیصه که قبلا هم بحث شد، اینست که روزهایی که توسط خورشید سنجش می‌شوند، از نظر طول مدت روز متغیر است.

نقیصهٔ دیگر وقت ظاهری محلی، مناسب نبودن این نوع از سنجش وقت است که تا این اندازه به‌محل، بستگی‌دارد. وقت دو محل‌را فقط وقتی می‌توان سنجید که اختلاف طول جغرافیایی آنها معین باشد. دو شهر که بر روی یک نصف‌النهار قرار دارند و یا بعبارت دیگر فقط از نظر شمالی و جنوبی از هم فاصله دارند، دارای وقت یکسانند، امّا درصورتیکه دو شهر از جهت شرقی-غربی از هم فاصله داشته باشند، دارای وقت ظاهری محلی متفاوتی خواهند بود. برای توضیح اینکه وقتِ ظاهری محلی تا چه حد به‌محل بسته است، به‌ذکر چند مثال می‌پردازیم. در بخش (۲-۵) در فصل اوّل، چگونگی تعیین فاصلهٔ شرقی-غربی دو محل، با اختلاف طول جغرافیایی معین، توضیح داده شد. با توجه به‌آنچه که قبلا داده شده، هر ۱۵۲۰ فوت در امتداد مشرق-مغرب، بر روی دایرهٔ استوا، برابر اختلاف یک ثانیه در وقت است. در سایر عرضهای جغرافیایی، برای بدست آوردن فاصلهٔ معادل یک ثانیه، می‌بایست عدد ۱۵۲۰ در کسینوس عرض جغرافیایی محل ضرب شود. مثلا در عرض جغرافیایی °۳۵، کسینوس ۳۵ درجه برابر ۰/۸۱۹۲ است و حاصلضرب آن در ۱۵۲۰ می‌شود ۱۲۴۵ فوت. بنابراین در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، هر۱۲۴۵ فوت در امتداد مشرق-مغرب برابر یک ثانیه اختلاف در وقت است. با استفاده از همین روش، جدول (۱-۷) تنظیم شده است. در این جدول، طول شرقی-غربی معادل یک ثانیهٔ زمانی در عرضهای جغرافیایی مختلف داده شده است.

1. Local Apparent Noon 2. Sundial

**جدول (۱-۷) طول شرقی-غربی معادل یک ثانیه اختلاف وقت، درعرضهای جغرافیایی مختلف :**

| عرض جغرافیایی | ۱۵° | ۲۰° | ۲۵° | ۳۰° | ۳۵° | ۴۰° | ۴۵° | ۵۰° | ۵۵° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فاصلهٔ شرقی‌غربی برحسب فوت | ۱۴۶۸ | ۱۴۲۸ | ۱۳۷۸ | ۱۳۱۶ | ۱۲۴۵ | ۱۱۶۴ | ۱۰۷۵ | ۹۷۷ | ۸۷۲ |

فرض کنید که یک زمین فوتبال در امتداد مشرق-مغرب قرار گرفته باشد، حال می‌خواهیم بدانیم که اختلاف وقت ظاهری محلی بین دو سرزمین چقدر است. در یک زمین فوتبال واقع در امتداد مشرق-مغرب، با طول ۳۰۰ فوت، و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، اختلاف وقت در دوسر یک ضلع شرقی-غربی آن برابر ۰/۲۴۱ ثانیه و یا درحدود یک‌چهارم ثانیه است. دیده می‌شود که در چنین فاصلهٔ کوتاهی، اختلاف وقت ظاهری محلی قابل ملاحظه است و درفواصل بیشتر، میزان اختلاف بیشتر می‌شود. چنانکه فاصلهٔ شرقی-غربی دو شهر در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه برابر یکصد مایل باشد، میزان اختلاف وقت ظاهری محلی برابر ۷/۰۷ دقیقه می‌شود. اختلاف وقت دوشهر درفاصلهٔ شرقی-غربی ۱۴/۱۵ مایل، برابر یک دقیقه است.

## ۸. وقت متوسط[1]

تابحال دریافته‌ایم که چرا طول روزهای شمسی ظاهری[2] متغیر است. دو دلیل تغییر طول روزهای شمسی ظاهری یکی دایره‌ای نبودن مدار حرکت انتقالی زمین است که دیده شد تقریباً بیضی‌شکل می‌باشد و دیگری تمایل دایرهٔ استوای زمین نسبت به‌سطح مدار حرکت انتقالی آنست.بطورکلی، روز شمسی ظاهری در ماه دسامبر به ۲۴ ساعت و ۳۰ ثانیه و درماه سپتامبر به‌۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه می‌رسد. مقادیر جزئی اختلاف روزانهٔ روزهای شمسی ظاهری در طول یکسال جمع شده و به حدود نیمساعت می‌رسد، که در موارد علمی قابل قبول نیست و حتی در زندگی روزمرهٔ

1. Mean Time 2. Apparent Solar Day

امروزی هم نمی‌تواند قابل قبول باشد.

به‌منظور اینکه واحد زمانی غیرمتغیری براساس حرکت خورشید داشته باشیم و دو علت تغییر طول روزهای شمسی ظاهری جبران گردد، منجمین، خورشیدی فرضی به‌نام خورشید متوسط[1] یا میانگین در نظر گرفته‌اند. این خورشید فرضی، در طول یکسال حرکت ظاهریِ خورشیدِ واقعی[2] درامتداد دایرة‌البروج، یک بار دایرهٔ استوای سماوی را با سرعتی یکنواخت می‌پیماید. ظهرمتوسط[3]، لحظه‌ای‌است که خورشید متوسط از نصف‌النهار یک محل عبور می‌کند و آن را ظهر متوسط محلی[4] می‌نامند. روز شمسی متوسط[5] فاصلهٔ زمانی دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار محل است. در سایر اوقات، ساعات روز شمسی متوسط، توسط زاویهٔ ساعتی خورشید متوسط از نصف‌النهار محل بطرف مغرب، از صفر تا ۲۴ ساعت مشخص می‌گردد. برای اوقات رسمی، مناسبتر است، که روز متوسط در نیمه‌شب، بعنوان ساعت صفر، شروع گردد که آن را نیمهٔ شب متوسط محلی[6] می‌نامند. روز شمسی متوسط به بیست‌وچهار ساعت و هرساعت متوسط[7] به ۶۰ دقیقه و هردقیقهٔ متوسط[8] به ۶۰ ثانیهٔ متوسط[9] تقسیم شده است. روزشمسی متوسط همان روزی است که در تنظیم ساعتهای معمولی بکار می‌رود و طوری میزان شده است که در هر روز سال، لحظهٔ ظهر متوسط، هنگام عبور خورشید متوسط فرضی از نصف‌النهار محل، در سر ساعت ۱۲ اتفاق می‌افتد. ساعتی که ساعت منظم نجومی را نشان می‌دهد، در یک روزشمسی متوسط نسبت به‌ساعتی که وقت شمسی متوسط را می‌نمایاند ۳ دقیقه و۵۶/۵۵۵ ثانیهٔ نجومی جلو می‌افتد؛ بعبارت دیگرطول روز شمسی متوسط ۲۴ ساعت و ۳دقیقه و ۵۶/۵۵۵ثانیهٔ نجومی است.

در عمل، منجمین، بدون رصد خورشید، وقت شمسی متوسط را تعیین می‌کنند. ستارگان را برای تعیین زمان نجومی، مورد رصد قرار داده، و سپس آن را به‌وقت شمسی متوسط، توسط فرمول ریاضی، که از رصدهای قبلی خورشید نسبت به‌ستارگان بدست آمده است، تبدیل می‌کنند.

## ۹. تبدیل فواصل زمانی شمسی متوسط به‌فواصل زمانی نجومی و برعکس

قبلا طول روز نجومی را با طول روزشمسی متوسط مقایسه کردیم و دیده شد که

1. Mean Sun 2. True Sun 3. Mean Noon
4. Local Mean Noon 5. Mean Solar Day 6. Local Mean Midnight
7. Mean Hour 8. Mean Minute 9. Mean second

طول روز شمسی متوسط ۳ دقیقه و ۵۶/۵۵۵ ثانیه از روز نجومی بلندتر است. همچنین پیش از این در فصل ششم، در مثال (۴-۶) دیدیم که در هرسال شمسی، که از ۳۶۵/۲۴۲۲ روز شمسی متوسط تشکیل شده است، ۳۶۶/۲۴۲۲ روز نجومی موجود است، یعنی:

۳۶۶/۲۴۲۲ روز نجومی = ۳۶۵/۲۴۲۲ روزشمسی متوسط

روز نجومی $(1 + \frac{1}{365/2422})$ = ۱ روزشمسی متوسط

۵۶/۵۵۵ ثانیهٔ نجومی و ۳ دقیقه و ۲۴ ساعت = ۱ روزشمسی متوسط

بنابراین

۹/۸۵۶۵ ثانیهٔ نجومی + یک ساعت نجومی = یک ساعت شمسی متوسط

۰/۱۶۴۲ ثانیهٔ نجومی + یک دقیقهٔ نجومی = یک دقیقهٔ شمسی متوسط

۰/۰۰۲۷ ثانیهٔ نجومی + یک ثانیهٔ نجومی = یک ثانیهٔ شمسی متوسط

بنابراین برای تبدیل ساعت شمسی متوسط به‌ساعت نجومی، می‌بایست به‌ازاء هرساعت شمسی متوسط ۹/۸۵۶۵ ثانیهٔ نجومی، به‌آن اضافه شود. این مقدار تصحیح، شتاب[1]، نامیده می‌شود. به همین ترتیب:

۳۶۵/۲۴۲۲ روزشمسی متوسط = ۳۶۶/۲۴۲۲ روز نجومی

روز شمسی متوسط $\frac{365/2422}{366/2422}$ = ۱روز نجومی

یا روز شمسی متوسط $\left(1 - \frac{1}{366/2422}\right)$ = ۱ روز نجومی

۴/۰۹ ثانیهٔ شمسی متوسط و ۵۶ دقیقه و ۲۳ ساعت = یک روز نجومی

۹/۸۲۹۶ ثانیهٔ شمسی متوسط — یک ساعت شمسی متوسط = یک ساعت نجومی

۰/۱۶۳۸ ثانیهٔ شمسی متوسط — یک دقیقهٔ شمسی متوسط = یک دقیقهٔ نجومی

۰/۰۰۲۷ ثانیهٔ شمسی متوسط — یک ثانیهٔ شمسی متوسط = یک ثانیهٔ نجومی

بنابراین برای تبدیل ساعت نجومی به‌ساعت شمسی متوسط، می‌بایست به‌ازای هرساعت نجومی، ۹/۸۲۹۶ ثانیه از ساعت نجومی کاسته شود. این مقدار تصحیح به‌نام پس‌افت[2] معروف است.

**مثال (۱-۷)**— فاصلهٔ زمانی ۴ ساعت و ۲۰ دقیقه و ۳۰ ثانیهٔ شمسی متوسط را به‌وقتِ نجومی تبدیل کنید.

**راه‌حل**- مطابق آنچه که توضیح داده شد، برای تبدیل ساعت شمسی متوسط

1. Acceleration 2. Retardation

به‌ساعت نجومی، می‌بایست اوّل مقدار شتاب، به‌ازای ۹/۸۵۶۵ ثانیه برای هرساعت شمسی متوسط، محاسبه گردد، بنابراین،

۴ × ۹/۸۵۶۵ = ۳۹/۴۲۶ ثانیه

۲۰ × ۰/۱۶۴۲ = ۳/۲۸۴ ثانیه

۳۰ × ۰/۰۰۲۷ = ۰/۰۸۱ ثانیه

۴۲/۷۹۱ ثانیه جمع

۳۰ ثانیه و ۲۰ دقیقه و ۴ ساعت = فاصلهٔ زمانی شمسی متوسط

\+ ۴۲/۷۹۱ ثانیه

۱۲/۷۹۱ ثانیه و ۲۱ دقیقه و ۴ ساعت = فاصلهٔ زمانی نجومی

**مثال (۲-۷)**— فاصلهٔ زمانی ۸ ساعت و ۴۰ دقیقه و ۵۰ ثانیهٔ نجومی را به وقت شمسی متوسط تبدیل کنید.

**راه‌حل**— مطابق آنچه که توضیح داده شد، برای تبدیل ساعت نجومی به‌وقت شمسی متوسط، می‌بایست اوّل مقدار پس افت را به‌ازای ۹/۸۲۹۶ ثانیه برای هرساعت نجومی، محاسبه کرد، بنابراین،

۸ × ۹/۸۲۹۶ = ۷۸/۶۳۷ ثانیه

۴۰ × ۰/۱۶۳۸ = ۶/۵۵۲ ثانیه

۵۰ × ۰/۰۰۲۷ = ۰/۱۳۵ ثانیه

۸۵/۳۲۴ ثانیه جمع

۵۰ ثانیه و ۴۰ دقیقه و ۸ ساعت = فاصلهٔ زمانی نجومی

— ۲۵/۳۲۴ ثانیه و ۱ دقیقه

۲۴/۶۷۶ ثانیه و ۳۹ دقیقه و ۸ ساعت = فاصلهٔ زمانی متوسط شمسی

## ۱۰. وقت متوسط محلی[1]

وقت متوسط محلی هرمکان، بدین ترتیب سنجیده می‌شود که لحظهٔ عبور خورشید متوسط از نصف‌النهار محل، ساعت ۱۲ ظهر است و روز متوسط، از نیمهٔ‌شب از ساعت صفر آغاز می‌گردد. حرکت روزانهٔ ظاهری خورشید از مشرق به‌مغرب است، بنابراین اگر دو محل A و B طوری قرار گرفته باشند که محل B در مغرب محل A باشد، واضح

1. Local Mean Time

است که ظهر متوسط در محل A زودتر از محل B واقع می‌شود. لذا اختلاف ظهر متوسط در نقاط مختلف، بستگی به اختلاف طول جغرافیایی آنها دارد. ظهر متوسط نقاط واقع بر روی یک نصف‌النهار، در یک لحظه، اتفاق می‌افتد. بنابراین اگر دو محل A و B دارای طولهای جغرافیایی مختلف بوده و وقت متوسط یکی از آنها مثلا A معلوم باشد، وقت متوسط محل دیگر، در همان لحظه از روی اختلاف طولهای جغرافیایی آنها قابل محاسبه است. برای این کار کافی است که اختلاف طولهای جغرافیایی را به‌زمان تبدیل کرده (هر $15^{\circ}$ اختلاف طول جرافیایی معادل یک‌ساعت)، نتیجه را از وقت A کسر (درصورتیکه محل B در مغرب A) و یا آن را به‌وقت A اضافه (درصورتیکه محل B در مشرق محل A باشد) کرد.

وقتِ متوسط محلی با وجود یکنواخت بودن، مناسب نیست چه، باز محلی بوده و بستگی به نصف‌النهار محل دارد و معایب مذکور درمورد وقتِ شمسی ظاهری محلی در این مورد هم صادق است، چه، خورشید متوسط، مانند خورشید حقیقی، در هرلحظه فقط می‌تواند بر روی یک نصف‌النهار قرار گیرد.

## ۱۱. وقت تقویمی[1] و زمان اتمی[2]

وقتِ نجومی، وقت شمسی ظاهری و وقتِ شمسی متوسط برمبنای حرکت دورانی زمین استوار است. برای قرنها، ثانیه واحد اساسی زمان را، بعنوان یک هشتادوشش هزارو چهارصدم $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}=\left(\frac{۱}{۶۰}\times\frac{۱}{۶۰}\times\frac{۱}{۲۴}\right)$ یک روز شمسی متوسط محسوب می‌داشتند و بدین‌سبب ثانیه، مستقیماً به‌میزان حرکت دورانی زمین ارتباط داشت. در اثر بررسیهای انجام شده در نیمهٔ اوّل قرن بیستم، چنین نتیجه گرفته شد که آهنگ حرکت دورانی زمین متغیر است.

دورهٔ حرکت دورانی زمین در ۲۴ ساعت و یا ــ/۸۶،۴۰۰ ثانیه، بوسیلهٔ فاصلهٔ دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار محل تعیین شده بود. سؤال اینست که آیا این دوره ثابت است یا خیر. از آنجایی که خود حرکت دورانی زمین، اساس اندازه‌گیری زمان را تشکیل می‌دهد، لذا فهمیدن هرنوع تغییر در آن، مشکل است، چه، چنین ساعتی که بتواند روزهای متوالی بصورت کاملا یکنواخت کار کند، ساخته نشده بود.

1. Ephemeris Time 2. Atomic Time

اولین علامت تغییر طول روز، از مقایسهٔ رصدِ گرفتگیهای خورشید و ماه در ایام قدیم و جدید حاصل شد. با نظریهٔ منظومهٔ شمسی، می‌توان گرفتگیهای ماه و خورشید در ایام گذشته و آینده را دقیقاً حساب کرد. گرفتگیهای خورشید و ماه در ایام زودتری نسبت به‌نتیجهٔ محاسبه، اتفاق افتاده بود و در ابتدا چنین تصور می‌شد که آهنگ حرکت ماه به‌دور زمین، سریعتر شده باشد. امّا چون تسریع ظاهری حرکت ماه با توجه به نیروی گرانشی[1] سایر اعضای منظومهٔ شمسی، قابل توجیه نبود. لذا آهسته‌تر شدن حرکت دورانی زمین و درنتیجه، افزایش طول واحد زمان، قابل توجیه شد. این پدیده دراثر اصطکاک جزرومدّ[2]، حاصل می‌گردد و در یک قرن، موجب افرایش طول روز بمیزان ۰/۰۰۱۶ ثانیه و یا افزایش طول روز به‌میزان $۵ \times ۱۰^{-۸}$ ثانیه در روز می‌شود. میزان تغییر طول روز، بی‌اندازه کم است، اما در طول قرون، بر روی هم جمع شده و مقادیر قابل توجهی را پدید می‌آورد.

چنانکه ناظری در ابتدای شروع یک قرن، ساعت مکانیکی کاملی داشته باشد که در فاصلهٔ دو عبور پیاپی و اولیهٔ خورشید متوسط از نصف‌النهار محل دقیقاً ـ/۸۶،۴۰۰ ثانیه را نشان دهد، ساعت، در پایان قرن اشتباه خواهد داشت، چه در اولین روزشروع قرن بعدی، طول یک روز، برابر ۸۶،۴۰۰/۰۰۱۶ ثانیه خواهد بود. متوسط طول روز در قرن اولی مثلا در وسط قرن برابر ۸۶،۴۰۰/۰۰۰۸ثانیه بوده، و از آنجایی که در یک قرن ۳۶،۵۲۵ = ۱۰۰ × ۳۶۵/۲۵ روز وجود دارد، لذا اشتباهات جمع شده درطی سالها برابر است با:

۰/۰۰۰۸ × ۳۶،۵۲۵ = ۲۹ ثانیه

در ابتدای قرن بعدی میزان ساعت باندازهٔ ۰/۰۰۱۶ ثانیه در روز در اشتباه خواهد بود و در پایان قرن بعدی، ساعت، طول روز را ۸۶،۴۰۰/۰۰۳۲ ثانیه نشان خواهد داد. درنتیجه درنیمهٔ قرن بعدی متوسط طول روزبرابر

$$\frac{۰/۰۰۱۶ + ۰/۰۰۳۲}{۲} = ۰/۰۰۲۴$$

ثانیه می‌شود و لذا اشتبـاه جمع شدهٔ ساعت، در پایان قرن بعدی برابر است با:

۰/۰۰۲۴ × ۳۶،۵۲۵ = ۸۸ ثانیه

اما ساعت در ابتدای قرن دوم دارای اشتباه جمع شدهٔ ۲۹ ثانیه‌ای بود، درنتیجه، اشتباه جمع شدهٔ ساعت، در پایان قرن بعدی خواهد شد:

1. Gravitational Attraction 2. Tidal Friction

ثانیه ۱۱۷ = ۸۸ + ۲۹

با ادامهٔ این محاسبه، میزان اشتباه جمع شدهٔ ساعت در جدول (۲-۷) داده شده است. یکنواخت نبودن طول روز، نه‌تنها در اوقات گرفتگی ماه و خورشید که با دقت زیادی قابل رصدند، تأثیر دارد، بلکه در تمام پدیده‌های دوره‌ای جهان مانند حرکت سیارات و اقمار و غیره نیز تأثیر می‌گذارد.

علاوه بر افزایش طول روز در اثر اصطکاک جزر و مد، تغییرات کم و نامنظمی نیز موجود است که موجب افزایش سرعت مداری ماه و یا کاهش آن می‌شود. چنین تغییراتی در طول روز، سبب جمع شدن اشتباه در ساعت، در حدّ نیم دقیقه کُند و یا تند رفتن آن می‌شود. علت این امر ممکن است در اثر تغییرات در پخش ماده در درون زمین صورت پذیرد.

**جدول (۲-۷) جمع شدن اشتباه ساعت در قرنهای متوالی**

| اشتباه ساعت (تند رفتن ساعت) | | تاریخ قرن |
|---|---|---|
| ثانیه ۰ | (ثانیه ۰) | ۰ |
| « ۲۹ | (« ۲۹) | ۱۰۰ |
| « ۵۷ و ۱ دقیقه | (« ۱۱۷) | ۲۰۰ |
| « ۲۳ و ۴ « | (« ۲۶۳) | ۳۰۰ |
| « ۴۸ و ۷ « | (« ۴۶۸) | ۴۰۰ |
| « ۱۰ و ۱۲ « | (« ۷۳۰) | ۵۰۰ |
| « ۳۲ و ۱۷ « | (« ۱،۰۵۲) | ۶۰۰ |
| « ۵۲ و ۲۳ « | (« ۱،۴۳۲) | ۷۰۰ |
| « ۱۰ و ۳۱ « | (« ۱،۸۷۰) | ۸۰۰ |
| « ۲۷ و ۳۹ « | (« ۲،۳۶۷) | ۹۰۰ |
| « ۴۰ و ۴۸ « | (« ۲،۹۲۲) | ۱،۰۰۰ |
| « ۴۸ و ۱۴ « و ۳ ساعت | (« ۱۱،۶۸۸) | ۲،۰۰۰ |

بعد از ساخته شدن ساعتهای دقیقی که می‌توانند میزان خود را درطی یکسال و یا بیشتر نگاه دارند، تغییر دیگری در طول روز پیدا شد که دراثر چگونگی پخش تودهٔ هوا و برف بر روی کرهٔ زمین صورت می‌پذیرد. هوا در زمستانها، بعلت سرد بودن

زیاد، بر روی قارهٔ آسیا، مجتمع می‌شود.

بعلت تغییرات طول روز که ذکر شد، ثانیه، توسط جامعهٔ علمی بین‌المللی در سال ۱۹۶۵ دوباره‌تعریف‌شد. طبق تعریف‌جدید، ثانیه‌عبارت‌از کسر

$$\frac{۱}{۳۱,۵۵۶,۹۲۵/۹۷۴۷}$$

از یک سال شمسی در تاریخ ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹، در ساعتِ ۱۲ تقویمی است— در متون نجومی، ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹ بصورت صفرم ژانویهٔ ۱۹۰۰ نوشته می‌شود— این ثانیه، به‌نام ثانیهٔ تقویمی[1] یا ثانیهٔ جداول نجومی موسوم گشته، تا از ثانیه‌های دیگر قابل تشخیص باشد و وقتِ مربوط، وقتِ تقویمی و یا وقتِ جداول نجومی نامیده می‌شود. علت بکار بردن تاریخ مشخص، اینست که طول سال شمسی، دقیقاً ثابت نیست و به‌آرامی کم می‌شود، اگرچه مقدار تغییر آن کمتر از یک ثانیه در یک قرن است. سال شمسی[2] که به‌سال برجی[3] و سال اعتدالی[4] نیز موسوم است عبارت‌از فاصلهٔ زمانی بین دو عبور پیاپی خورشید از نقطهٔ اعتدال بهاری است که تقریباً برابر ۳۶۵/۲۴۲۲۰ روز متوسط خورشیدی و یا مساوی ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۴۶/۰۸ ثانیه است.

گرچه وقتِ تقویمی را می‌توان یکنواخت فرض کرد، اما در عمل، دارای دو نقیصه است. اوّل اینکه: می‌بایست از طریق رصد اجرام سماوی مانند ماه، تعیین شود که دارای دقت مورد لزوم نیست. دوّم اینکه: تقریباً بعد از گذشت شش ماه، تعیین آن ممکن می‌شود. و نمی‌توان این مدت را صبر کرد تا فهمید که ۶ ماه قبل، وقت، چگونه بوده است. امّا بهر صورت روش اساسی تعیین وقتِ تقویمی، برمبنای حرکت مداری زمین بدور خورشید صورت می‌گیرد و وضعیت زمین با رصد خورشید نسبت به‌ستارگان، در رابطه با دایرهٔ نصف‌النهار ناظر انجام می‌شود.

وقتِ تقویمی درعمل، کاربرد ندارد؛ بعبارت دیگر ساعتی که بتواند وقت تقویمی را نشان دهد، موجود نیست. امّا وقتِ تقویمی درمکانیک سماوی[5] اهمیت داشته و در جداول نجومی سیارات و ماه[6] بکار می‌رود.

به‌سبب نقیصه‌های مذکور و پیشرفت تکنولوژی، از سال ۱۹۵۶ به‌بعد و همچنین بعلت نیاز کارهای علمی، ثانیه، بار دیگر مطابق ساعت اتمی تعریف شد.

1. Ephemeris second  2. Solar Year  3. Tropical Year  4. Equinoctial Year
5. Celestial Mechanics  6. The Ephemeris of the Planets and the Moon

اصولا چگونه می‌توان تعیین کرد که دورهٔ یک پدیدهٔ تناوبی که برای سنجش زمان بکار می‌رود، ثابت می‌ماند و تغییر نمی‌کند؟ این عمل، با مقایسهٔ پدیده تناوبی با یک پدیدهٔ تناوبی دیگر صورت می‌پذیرد.

مثلا حرکت دورانی زمین به‌دور خود را می‌توان با حرکت نوسانی یک آونگ که متصل به یک دستگاه شمارشگر است و درنتیجه، یک ساعت پاندولی[1] را تشکیل می‌دهد، سنجید. چنانکه نوسان پاندول، ثابت نگاهداشته شود، مشاهده خواهد شد که تعداد حرکات نوسانی پاندول درطی یک گردش زمین به‌دور محورش، در حد دقت ساعت پاندولی، ثابت و قابل تکرار است. تا سال ۱۹۳۰ میزان دقت بهترین ساعت پاندولی درحدود ۰/۰۰۲ ثانیه در روز بود. بعداً اینگونه ساعتها، در سنجش دقیق وقت، توسط ساعتهای بلور کوارتز[2] و ساعتهای اتمی جایگزین شدند. ساعتهای کوارتز براساس دورهٔ نوسان بلور کوارتز استوارند.

یک ساعت اتمی براساس نوسانات الکترونهای اتمهای سزیم[3] که به‌یک ماشین شمارشگر الکترونیکی متصل است، ساخته می‌شود. از مقایسهٔ ساعتهای دقیق اتمی مختلف، دیده شد که تا حد یک قسمت در ۱۰ به‌توان ۱۱ ($۱۰^{۱۱}$) قابل تکرارند. امّا در مقایسهٔ حرکت دورانی زمین با ساعت اتمی، ملاحظه شد که حرکت دورانی زمین یکنواخت و قابل تکرار نیست که البته چگونگی آن توضیح داده شد.

درنتیجه، ثانیه، درسال ۱۹۶۷ برمبنای دورهٔ نوسان الکترونها دراتمهای سزیم ۱۳۳[4] استوارشد. ثانیه درحال حاضر دقیقاً شامل تعداد ۹،۱۹۲،۶۳۱،۷۷۰/— نوسان است.

این نوع ثانیه را ثانیهٔ اتمی[5] نامند و بفوریت و با دقت بسیار زیاد قابل دسترسی است و درکلیهٔ موارد اندازه‌گیری زمان، بجز درموارد نجومی که همان وقت تقویمی در آن کاربرد دارد، بکارمی‌رود.

ثانیهٔ اتمی، تا حد امکان نزدیک ثانیهٔ تقویمی انتخاب شده است، امّا تساوی ثانیهٔ اتمی و ثانیهٔ تقویمی صددرصد نیست و میزان ثانیهٔ اتمی از ثانیهٔ تقویمی، به‌مرور زمان فاصله خواهد گرفت، مگراینکه هرچندمدتی، میزان آن دوباره تصحیح شود.

درحال حاضر روش اندازه‌گیری فواصل زمانی، براساس ساعت اتمی استواراست.

1. Pendulum Clock 2. Quartz Crystal 3. Cesium Atoms
4. Cesium 133 5. Atomic second

## ۱۲. تعدیل زمان[۱] ( معادلهٔ زمان )

سنجش مبدء زمانی، توسط ساعت شمسی متوسط صورت می‌گیرد، لذا رابطهٔ بین وقتِ شمسی ظاهری و وقتِ شمسی متوسط، حائز اهمیت است.

تفاوت بین ساعت شمسی متوسط و ساعت شمسی ظاهری در هرلحظه را تعدیل زمان (معادلهٔ زمان) نامند.

از آنجایی که خورشید متوسط، یک خورشید فرضی است، لذا بهیچ صورتی نمی‌توان آن را مستقیماً رصد کرد. قبلا وقتِ شمسی ظاهری، از روی رصد خورشید تعیین می‌شد. سپس برمبنای آن، با بکار بردن تعدیل زمان، وقتِ شمسی متوسط محاسبه می‌گردید. در حال حاضر وقتِ شمسی متوسط، خیلی راحتتر از تبدیل وقتِ نجومی، که از رصد اجرام سماوی تعیین می‌شود، توسط علائم بی‌سیم، بدست می‌آید. بنابراین مناسبتر است که تعدیل زمان را مقدار تصحیحی بدانیم که درمورد وقتِ شمسی متوسط اعمال می‌شود تا وقتِ شمسی ظاهری بدست آید. امّا در جداول نجومی، مفهوم تعدیل زمان توسط تفاوت وقتِ شمسی ظاهری و وقتِ شمسی متوسط، بیان می‌گردد، یعنی:

(وقتِ شمسی متوسط، MT[۳]) − (وقتِ شمسی ظاهری، AT[۲]) = تعدیل زمان

$$EOT = AT - MT \qquad (۷-۱)$$

درنتیجه، تعدیل زمان درحالی که وقتِ شمسی ظاهری از وقتِ شمسی متوسط بیشتر است، مثبت، و درحالی که وقتِ شمسی ظاهری از وقتِ شمسی متوسط کمتر است، منفی خواهد بود. بعبارت دیگر وقتی که خورشید حقیقی زودتر از خورشید متوسط از نصف‌النهار ناظر می‌گذرد، تعدیل زمان مثبت و وقتی که خورشید حقیقی بعد از خورشید متوسط از نصف‌النهار ناظر عبور می‌کند، تعدیل زمان، منفی است.

بنابراین مقادیر تعدیل زمان می‌بایست بصورت جبری با وقتِ شمسی متوسط جمع گردد، تا زمان شمسی ظاهری بدست آید:

$$AT = MT + EOT \qquad (۷-۲)$$

درحقیقت وقتی که وقتِ شمسی ظاهری و وقتِ شمسی متوسط مقایسه می‌گردند، آنها برای نصف‌النهار محل درنظر گرفته می‌شوند؛ بعبارت دیگر مفهوم فرمول فوق و فرمول بعدی یکی است:

1. Equation of Time    2. Apparent Time (AT)    3. Mean Time (MT)

تعدیل زمان + وقتِ شمسی متوسط محلی[2] = وقتِ شمسی ظاهری محلی[1]

$$LAT = LMT + EOT \qquad (۷-۳)$$

مقادیر تعدیل زمان در طول سال متغیر است و اندازه‌های آن در جداول نجومی، در لحظهٔ نیمهٔ شب ظاهریِ[3] هر روز سال، برای محلهای واقع بر نصف‌النهار گرینیچ، داده می‌شود. واضح است که مقادیر تعدیل زمان برحسب وقتِ داده شده و درهرلحظه برابر اختلاف زاویه‌های ساعتی و یا بُعدِ مربوط به خورشید واقعی و خورشید متوسط، داده شده برحسب زمان است.

تغییر تعدیل زمان در طول سال، بسبب بیضوی بودن مدار[4] حرکت انتقالی زمین بدور خورشید و تمایل دایرةالبروج[5] نسبت به‌سطح دایرهٔ استوای زمین است.

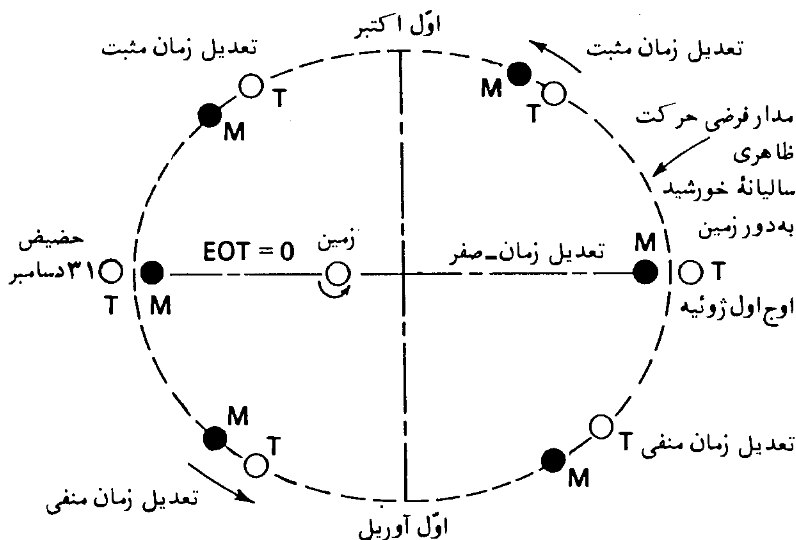
اساساً دو دلیل ذکرشده درفوق، همان دلیلهایی است که درمورد علت نابرابری روزهای شمسی ظاهری، درطول سال، داده شد. مدار حرکت انتقالی زمین بدور خورشید بشکل بیضی است که خورشید در یکی ازکانونهای آن قرار دارد. درنتیجه، مطابق قانون گرانش[6]، زمانی که زمین به‌خورشید نزدیکتر است سرعت حرکت آن بیشتر از وقتی است که از آن دورتر است. بنابراین سرعت حرکت ظاهری خورشید بر روی دایرةالبروج با تغییر فاصلهٔ زمین از خورشید تغییر می‌کند. درحالی‌که سرعت حرکت خورشید متوسط بر روی دایرهٔ استوای سماوی یکنواخت است.

همچنین سطح مدار حرکت ظاهری خورشید واقعی، بر روی دایرةالبروج، نسبت به‌سطح مدار حرکت خورشید متوسط، بر روی دایرهٔ استوای سماوی، باندازهٔ ۲۳°/۴۵ متمایل است. حرکت یکنواخت درامتداد دایرةالبروج، نمایانگر حرکت یکنواخت خورشید متوسط بر روی دایرهٔ استوای سماوی نیست.

برای بدست آوردن مقدارکل تغییرات تعدیل زمان، دراثر دو دلیل فوق‌الذکر، اثر هرکدام از علتها جداگانه مورد بحث قرارگرفته، سپس جمع جبری تغییرات ناشی از هرعلت، حساب می‌شود.

درمرحلهٔ اوّل، فرض می‌کنیم که مدار دایرةالبروج نسبت به‌مدار دایرهٔ استوا تمایل نداشته و مدار حرکت ظاهری خورشید را بر روی یک بیضی واقع بر صفحهٔ استوای سماوی فرض می‌کنیم، شکل (۶-۷).

1. Local Apparent Time (LAT)  2. Local Mean Time (LMT)
3. Apparent Midnight  4. Ellipticity of the Orbit  5. Obliquity of the Ecliptic
6. The Law of Gravitation




**شکل (۶ـ۷) — اثر بیضی شکل بودن مدار زمین بر روی تعدیل زمان.**

در این شکل چنین تصور شده که خورشید متوسط (M) و خورشید واقعی (T) هردو، حرکت خود را، از نقطهٔ حضیض در ۳۱ ماه دسامبر، بر روی مدار بیضی‌شکل، در جهت ارائه شده، شروع کنند. خورشید متوسط، دارای حرکت یکنواختی است و مسیر بیضی را در مدت زمان مساوی با مدت حرکت سالیانهٔ خورشید واقعی، می‌پیماید، درحالی که خورشید واقعی در نزدیکی حضیض، دارای سرعت زاویه‌ای[1] بیشتری نسبت به خورشید متوسط است. به همین جهت بعد از ۳۱ دسامبر، خورشید واقعی جلوتر از خورشید متوسط قرار می‌گیرد.

حال نظر به اینکه جهت حرکت دورانی زمین به‌دور محورش (از مغرب به‌مشرق)، هم جهت حرکت ظاهری خورشید بر روی مدار بیضی‌شکل است (جهت فلش در شکل)، لذا نصف‌النهار هرمحلی بر روی زمین، اوّل بار مقابل خورشید متوسط و بعداً مقابل خورشید واقعی قرار خواهد گرفت، و این بدان معنی است که ظهر متوسط[2] زودتر از ظهر ظاهری[3] شروع و یا بعبارت دیگر وقتِ شمسی متوسط، جلوتر از وقتِ شمسی ظاهری بوده، درنتیجه، تعدیل زمان منفی است. در این مسیر، خورشید حقیقی تا زمانی جلوتر از خورشید متوسط باقی می‌ماند که سرعت آن از متوسط سرعت، در کل مسیرِ مدار

1. Angular Velocity 2. Mean Noon 3. Apparent Noon

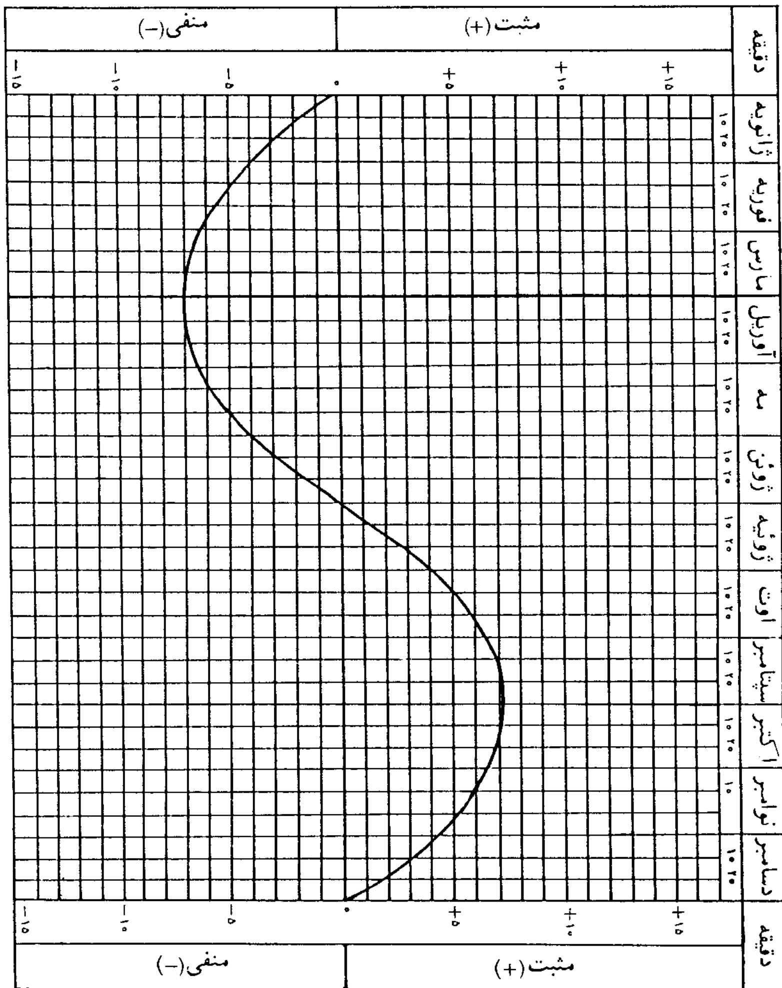
بیشتر باشد و این تا زمانی است که فاصلهٔ زاویه‌ای آن از نقطهٔ حضیض، تقریباً ۹۰ درجه باشد و خورشید حقیقی در اوّل ماه آوریل، به‌چنین نقطه‌ای می‌رسد. بعد از رسیدن به‌این نقطه گرچه هنوز خورشید حقیقی جلوتر از خورشید متوسط است، امّا با کمتر شدن سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی، فاصلهٔ آن از خورشید متوسط کمتر و کمتر می‌شود و خورشید متوسط کم‌کم در اوّل ماه ژوئیه در نقطهٔ اوج، به‌خورشید حقیقی می‌رسد که درحقیقت اندازهٔ تعدیل زمان، صفر می‌شود. بنابراین بین ۳۱ ماه دسامبر و اوّل ماه ژوئیه، مقادیر تعدیل زمان منفی است. بعد از اوّل ماه ژوئیه، سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی کمتر از سرعت یکنواخت خورشید متوسط است و لذا خورشید حقیقی از خورشید متوسط عقبتر حرکت می‌کند. در این حالت، ظهر شمسی ظاهری زودتر از ظهر شمسی متوسط واقع می‌شود و بعبارت دیگر، وقتِ شمسی ظاهری، جلوتر از وقتِ شمسی متوسط می‌باشد و درنتیجه، تعدیل زمان مثبت است. فاصلهٔ بین وقتِ شمسی ظاهری و وقتِ شمسی حقیقی تا موقعی که فاصلهٔ زاویه‌ای در اوّل ماه اکتبر به ۹۰ درجه برسد، بطور مداوم بیشتر می‌شود. بعد از این تاریخ، فاصلهٔ دو خورشید، تدریجاً کمتر می‌شود تا زمانی که دوباره آنها در نقطهٔ حضیض در ۳۱ دسامبر بهم برسند که در این حالت مقدار تعدیل زمان نیز صفر است. بنابراین تعدیل زمان از اوّل ژوئیه تا ۳۱ دسامبر مثبت است.

در شکل (۷ـ۷)، منحنی تغییرات تعدیل زمان، ناشی از بیضی‌شکل بودن مدار حرکت انتقالی زمین به‌تنهایی داده‌شده است.

در مرحلهٔ دوّم، تغییرات تعدیل زمان تنها در اثر متمایل‌بودن دایرةالبروج نسبت به‌سطح استوای سماوی را مورد بررسی قرار داده و از بیضی‌شکل بودن مدار، صرفنظر می‌شود؛ یعنی فرض می‌شود که مدار دایره‌ای‌شکل باشد.

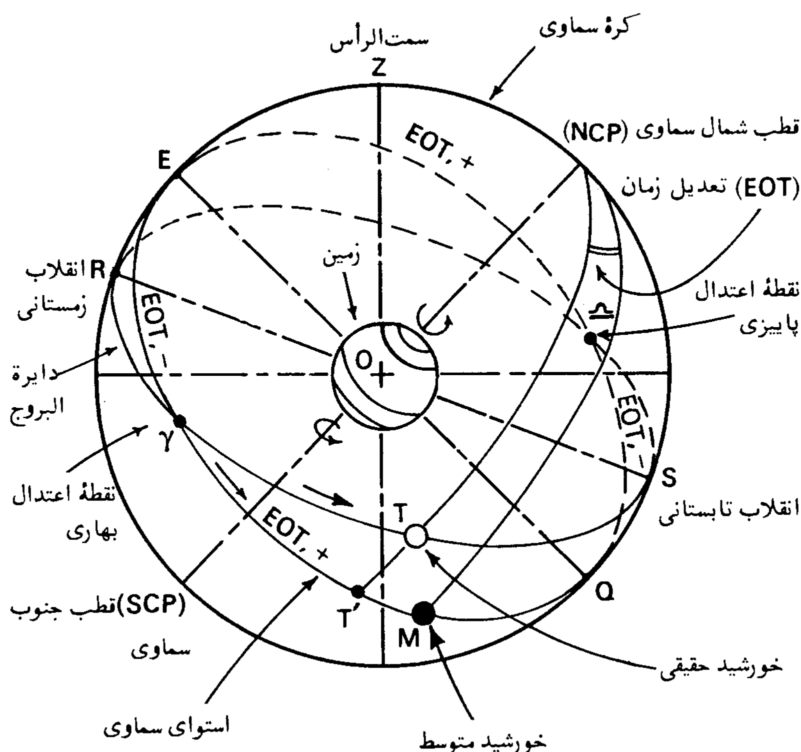
در شکل (۸ـ۷)، فرض می‌شود که خورشید حقیقی بر روی دایرةالبروج R♎S♈R با سرعتی یکنواخت (مسیر دایره‌ای‌شکل) درحال حرکت است وخورشید متوسط هم بر روی دایرهٔ استوای سماویِ E♎Q♈E با سرعتی یکنواخت— برابر سرعت یکنواخت خورشید حقیقی— درحال دوران باشد و همچنین زمین هم در مرکز کرهٔ سماوی، از مغرب به‌مشرق، درحال دوران به‌دور محور سماوی است.

اگر دو خورشید حقیقی و متوسط، از نقطهٔ اعتدال بهاری، در مسیرهای خود، با سرعتهای مساوی شروع به‌حرکت کنند، در هرزمانی کمانهای پیموده‌شده توسط دو خورشید، بر روی دایرةالبروج و دایرهٔ استوای سماوی، برابر خواهند بود. وقتی که خورشید حقیقی درمحل T باشد، خورشید متوسط در نقطه‌ای مانند M است بنحوی که



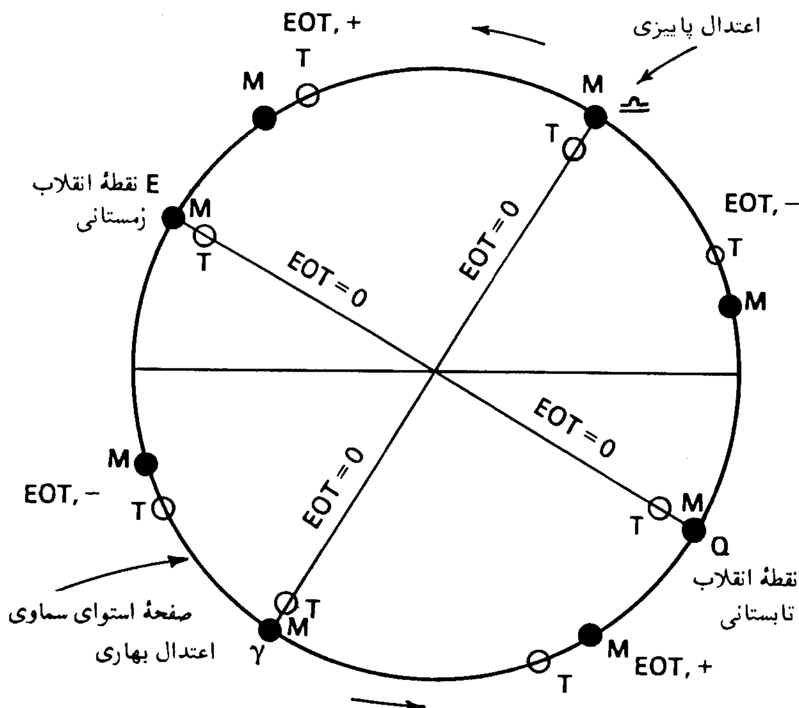

**شکل (۷ـ۷) — تغییرات تعدیل زمان ناشی شده از بیضی شکل بودن مدار حرکت انتقالی زمین.**

$\widehat{\gamma T} = \widehat{\gamma M}$ باشد. چنانکه کمانهای $\widehat{(NCP)\,T}$ و $\widehat{(NCP)\,M}$ ، قسمتی از دایره‌های میل عبور کننده از نقاط T و M باشند، دایرهٔ میل نقطهٔ T ، دایرهٔ استوای سماوی را در




شکل (۸-۷) — اثر تمایل دایرةالبروج، نسبت به‌سطح دایرهٔ استوای سماوی، در تعدیل زمان،

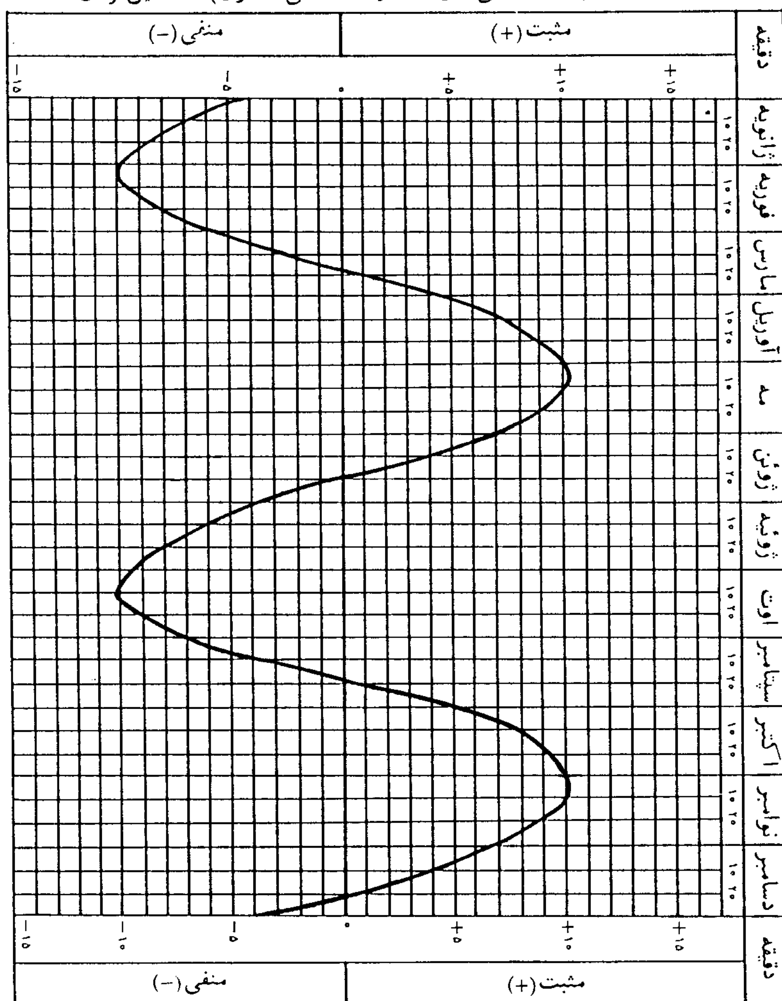
نقطهٔ ´T قطع می‌کند بطوری که زاویهٔ $M\ (\widehat{NCP})\ T'$ که زاویهٔ بین دایره‌های میل نقاط T و M است، برابر تعدیل زمان می‌شود، چه، این زاویه، تفاوت بُعد خورشید متوسط و خورشید حقیقی است. در شکل (۹-۷)، صفحهٔ دایرهٔ استوای سماوی به همراه وضعیت خورشید متوسط و خورشید حقیقی در ایام مختلف سال نشان داده شده است. با توجه به‌این شکل بهمراه شکل (۸-۷)، دیده می‌شود که خورشید متوسط (M)، از نقطهٔ اعتدال بهاری در γ ، تا نقطهٔ انقلاب تابستانی در نقطهٔ S ، جلوتر از خورشید حقیقی (T ) است و لذا هر نصف‌النهاری زودتر در مقابل خورشید حقیقی قرار می‌گیرد. این بدان معنی است که ظهر شمسی ظاهری زودتر از ظهر شمسی متوسط واقع شده و




**شکل (۹ـ۷) — تأثیر متمایل بودن دایرةالبروج در تعدیل زمان، نشان داده شده بر روی دایرهٔ استوای سماوی.**

درنتیجه تعدیل زمان مثبت است. خورشید حقیقی و خورشید متوسط فقط در نقاط اعتدالین و دو نقطهٔ انقلاب تابستانی و زمستانی به همدیگر می‌رسند. از نقطهٔ انقلاب تابستانی در S تا نقطهٔ اعتدال پاییزی♎، خورشید حقیقی از خورشید متوسط جلوتر حرکت می کند و درنتیجه، تعدیل زمان، منفی است. بعد از آن دوباره از نقطهٔ اعتدال پاییزی♎تا نقطهٔ انقلاب زمستانی در R ، مقادیر تعدیل زمان مثبت می‌شود. از نقطهٔ انقلاب زمستانی در R تا نقطهٔ اعتدال بهاری در γ ، تعدیل زمان دوباره منفی است.

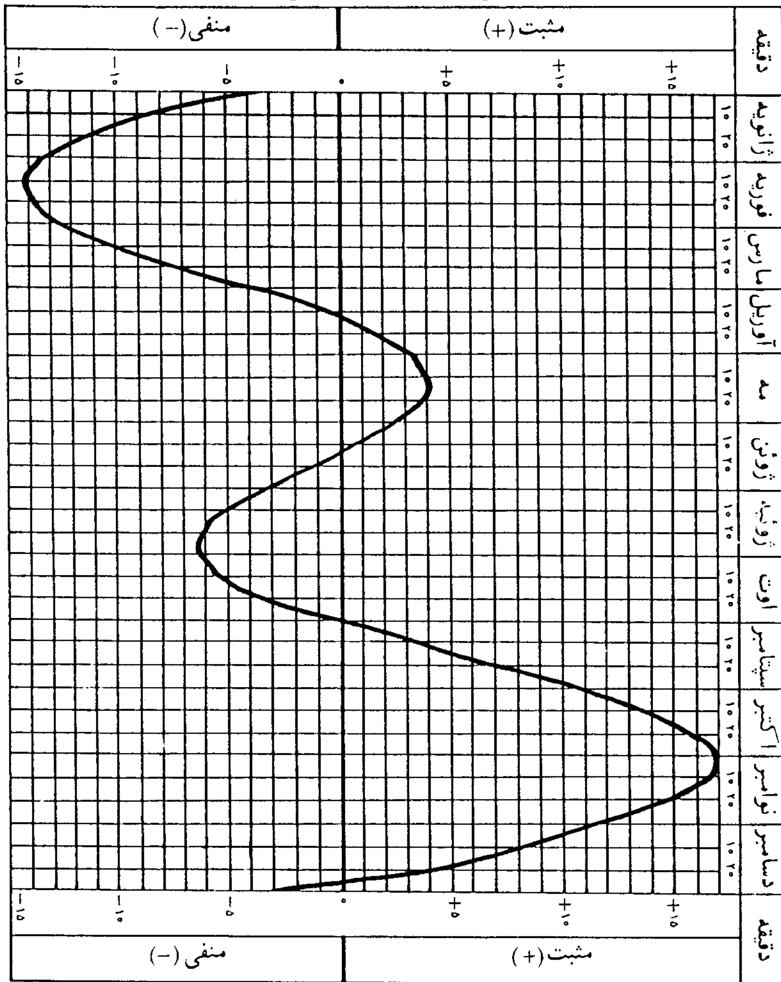
در شکل (۱۰ـ۷)، تغییرات مقادیر تعدیل زمان تنها دراثر متمایل بودن دایرةالبروج، داده شده است. وقتی که تغییرات تعدیل زمان ناشی از بیضی شکل بودن مدار زمین و متمایل بودن دایرةالبروج، بصورت جبری با همدیگر جمع شوند، منحنی




**شکل (۱۰ـ۷) — تغییرات تعدیل زمان ناشی شده از متمایل بودن صفحهٔ دایرةالبروج.**

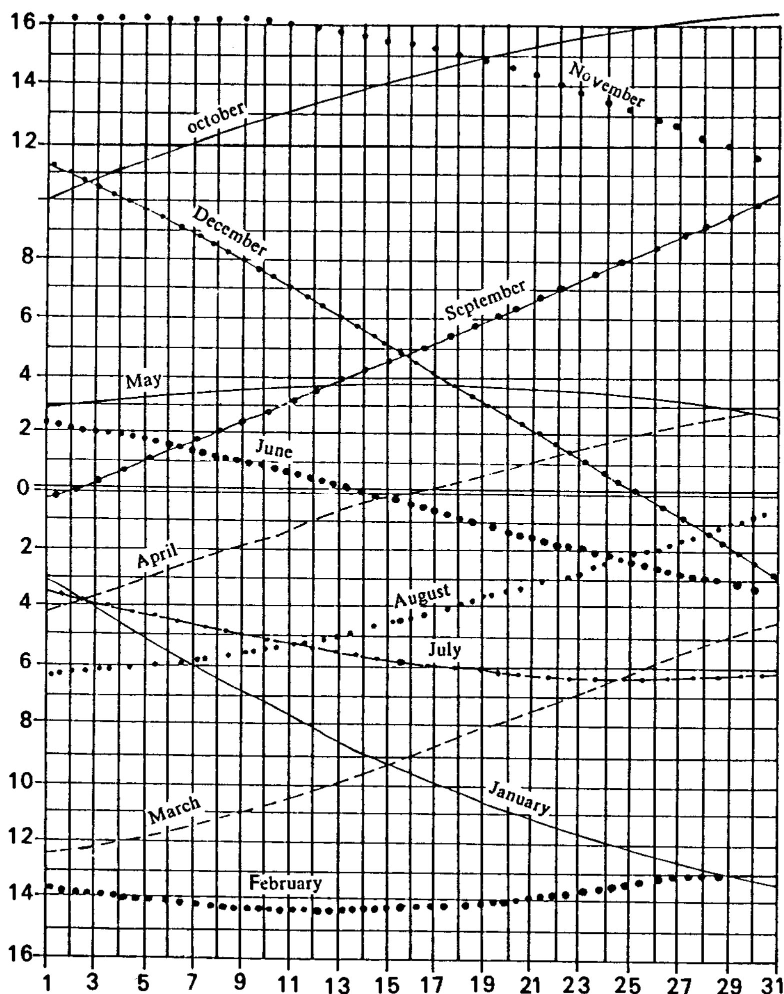
تغییرات منظور درشکل (۱۱ـ۷)، حاصل می‌شود.

این منحنی همچنین نشان می‌دهد که یک ساعت خورشیدی تا چه اندازه نسبت به یک ساعت معمولی، جلوتر و یا عقبتر کار می‌کند. وقتی که تعدیل زمان مثبت است،




**شکل (۱۱-۷) — کل تغییرات تعدیل زمان در طول سال.**

ساعت خورشیدی جلوتر و وقتی که منفی است، ساعت خورشیدی عقبتر کار می کند. این منحنی چگونگی تغییرات تعدیل زمان در طول سال را بخوبی نمودار می‌سازد. دیده می‌شود که مقادیر تعدیل زمان در اوایل سال گرگوری منفی و با مقادیر بیشتر در




شکل (۱۲-۷) — مقادیر تعدیل زمان در روزهای مختلف ماه.

اواخر سال، مثبت است. در بین این دو حالت، در اواسط سال، منحنی تغییرات تعدیل زمان، تقریباً یک منحنی سینوسی‌شکل است. این منحنی را نمی‌توان با دقت زیاد بکار برد و برای دقت بیشتر می‌شود مقادیر تعدیل زمان را، در روزهای مختلف ماه، از روی منحنی شکل (۱۲-۷) بدست آورد. اما مقادیر دقیقتر در جدول (۳-۷) ذکر شده است. در این جدول، مقادیر تعدیل زمان در روزهای سال برحسب دقیقه و ثانیه داده شده

## جدول (۳-۷) — معادلهٔ زمان در روزهای سال

| روز | ژانویه | | فوریه | | مارس | | آوریل | | مـه | | ژوئن | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه |
| ۱ | -۳ | ۱۲ | -۱۳ | ۳۳ | -۱۲ | ۳۴ | -۴ | ۸ | +۲ | ۵۱ | +۲ | ۲۵ |
| ۲ | -۳ | ۴۰ | -۱۳ | ۴۱ | -۱۲ | ۲۳ | -۳ | ۵۰ | +۲ | ۵۹ | +۲ | ۱۶ |
| ۳ | -۴ | ۸ | -۱۳ | ۴۸ | -۱۲ | ۱۱ | -۳ | ۳۲ | +۳ | ۶ | +۲ | ۶ |
| ۴ | -۴ | ۳۶ | -۱۳ | ۵۵ | -۱۱ | ۵۸ | -۳ | ۱۴ | +۳ | ۱۲ | +۱ | ۵۶ |
| ۵ | -۵ | ۳ | -۱۴ | ۱ | -۱۱ | ۴۵ | -۲ | ۵۷ | +۳ | ۱۸ | +۱ | ۴۶ |
| ۶ | -۵ | ۳۰ | -۱۴ | ۶ | -۱۱ | ۳۱ | -۲ | ۴۰ | +۳ | ۲۳ | +۱ | ۳۶ |
| ۷ | -۵ | ۵۷ | -۱۴ | ۱۰ | -۱۱ | ۱۷ | -۲ | ۲۳ | +۳ | ۲۷ | +۱ | ۲۵ |
| ۸ | -۶ | ۲۳ | -۱۴ | ۱۴ | -۱۱ | ۳ | -۲ | ۶ | +۳ | ۳۱ | +۱ | ۱۴ |
| ۹ | -۶ | ۴۹ | -۱۴ | ۱۶ | -۱۰ | ۴۸ | -۱ | ۴۹ | +۳ | ۳۵ | +۱ | ۳ |
| ۱۰ | -۷ | ۱۴ | -۱۴ | ۱۸ | -۱۰ | ۳۳ | -۱ | ۳۲ | +۳ | ۳۸ | +۰ | ۵۱ |
| ۱۱ | -۷ | ۳۸ | -۱۴ | ۱۹ | -۱۰ | ۱۸ | -۱ | ۱۶ | +۳ | ۴۰ | +۰ | ۳۹ |
| ۱۲ | -۸ | ۲ | -۱۴ | ۲۰ | -۱۰ | ۲ | -۱ | ۰ | +۳ | ۴۲ | +۰ | ۲۷ |
| ۱۳ | -۸ | ۲۵ | -۱۴ | ۱۹ | -۹ | ۴۶ | -۰ | ۴۴ | +۳ | ۴۴ | +۰ | ۱۵ |
| ۱۴ | -۸ | ۴۸ | -۱۴ | ۱۸ | -۹ | ۳۰ | -۰ | ۲۹ | +۳ | ۴۴ | +۰ | ۳ |
| ۱۵ | -۹ | ۱۰ | -۱۴ | ۱۶ | -۹ | ۱۳ | -۰ | ۱۴ | +۳ | ۴۴ | -۰ | ۱۰ |
| ۱۶ | -۹ | ۳۲ | -۱۴ | ۱۳ | -۸ | ۵۶ | +۰ | ۱ | +۳ | ۴۴ | -۰ | ۲۳ |
| ۱۷ | -۹ | ۵۲ | -۱۴ | ۱۰ | -۸ | ۳۹ | +۰ | ۱۵ | +۳ | ۴۳ | -۰ | ۳۶ |
| ۱۸ | -۱۰ | ۱۲ | -۱۴ | ۶ | -۸ | ۲۲ | +۰ | ۲۹ | +۳ | ۴۱ | -۰ | ۴۹ |
| ۱۹ | -۱۰ | ۳۲ | -۱۴ | ۱ | -۸ | ۴ | +۰ | ۴۳ | +۳ | ۳۹ | -۱ | ۲ |
| ۲۰ | -۱۰ | ۵۰ | -۱۳ | ۵۵ | -۷ | ۴۶ | +۰ | ۵۶ | +۳ | ۳۷ | -۱ | ۱۵ |
| ۲۱ | -۱۱ | ۸ | -۱۳ | ۴۹ | -۷ | ۲۸ | +۱ | ۰ | +۳ | ۳۴ | -۱ | ۲۸ |
| ۲۲ | -۱۱ | ۲۵ | -۱۳ | ۴۲ | -۷ | ۱۰ | +۱ | ۲۱ | +۳ | ۳۰ | -۱ | ۴۱ |
| ۲۳ | -۱۱ | ۴۱ | -۱۳ | ۳۵ | -۶ | ۵۲ | +۱ | ۳۳ | +۳ | ۲۴ | -۱ | ۵۴ |
| ۲۴ | -۱۱ | ۵۷ | -۱۳ | ۲۷ | -۶ | ۳۴ | +۱ | ۴۵ | +۳ | ۲۱ | -۲ | ۷ |
| ۲۵ | -۱۲ | ۱۲ | -۱۳ | ۱۸ | -۶ | ۱۶ | +۱ | ۵۶ | +۳ | ۱۶ | -۲ | ۲۰ |
| ۲۶ | -۱۲ | ۲۶ | -۱۳ | ۹ | -۵ | ۵۸ | +۲ | ۶ | +۳ | ۱۰ | -۲ | ۳۳ |
| ۲۷ | -۱۲ | ۳۹ | -۱۲ | ۵۹ | -۵ | ۴۰ | +۲ | ۱۶ | +۳ | ۳ | -۲ | ۴۵ |
| ۲۸ | -۱۲ | ۵۱ | -۱۲ | ۴۸ | -۵ | ۲۱ | +۲ | ۲۶ | +۲ | ۵۶ | -۲ | ۵۷ |
| ۲۹ | -۱۳ | ۳ | -۱۲ | ۴۲ | -۵ | ۲ | +۲ | ۳۵ | +۲ | ۴۹ | -۳ | ۹ |
| ۳۰ | -۱۳ | ۱۴ | ۰۰ | ۰۰ | -۴ | ۴۴ | +۲ | ۴۳ | +۲ | ۴۱ | -۳ | ۲۱ |
| ۳۱ | -۱۳ | ۲۴ | ۰۰ | ۰۰ | -۴ | ۲۶ | ۰۰ | ۰۰ | +۲ | ۳۳ | ۰۰ | ۰۰ |

## جدول (۳ـ۷) — دنباله ـ معادلهٔ زمان در روزهای سال

| روز | ژوئیه | | اوت | | سپتامبر | | اکتبر | | نوامبر | | دسامبر | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه | ثانیه | دقیقه |
| ۱ | ۳۳ | −۳ | ۱۶ | −۶ | ۱۲ | −۰ | ۵ | +۱۰ | ۲۰ | +۱۶ | ۱۱ | +۱۱ |
| ۲ | ۴۵ | −۳ | ۱۳ | −۶ | ۷ | +۰ | ۲۴ | +۱۰ | ۲۲ | +۱۶ | ۴۹ | +۱۰ |
| ۳ | ۵۷ | −۳ | ۹ | −۶ | ۲۶ | +۰ | ۴۳ | +۱۰ | ۲۳ | +۱۶ | ۲۶ | +۱۰ |
| ۴ | ۸ | −۴ | ۴ | −۶ | ۴۵ | +۰ | ۲ | +۱۱ | ۲۳ | +۱۶ | ۲ | +۱۰ |
| ۵ | ۱۹ | −۴ | ۵۹ | −۵ | ۵ | +۱ | ۲۰ | +۱۱ | ۲۲ | +۱۶ | ۳۸ | +۹ |
| ۶ | ۲۹ | −۴ | ۵۳ | −۵ | ۲۵ | +۱ | ۳۸ | +۱۱ | ۲۰ | +۱۶ | ۱۳ | +۹ |
| ۷ | ۳۹ | −۴ | ۴۶ | −۵ | ۴۵ | +۱ | ۵۶ | +۱۱ | ۱۸ | +۱۶ | ۴۸ | +۸ |
| ۸ | ۴۹ | −۴ | ۳۹ | −۵ | ۵ | +۲ | ۱۳ | +۱۲ | ۱۵ | +۱۶ | ۲۲ | +۸ |
| ۹ | ۵۸ | −۴ | ۳۱ | −۵ | ۲۶ | +۲ | ۳۰ | +۱۲ | ۱۱ | +۱۶ | ۵۶ | +۷ |
| ۱۰ | ۷ | −۵ | ۲۳ | −۵ | ۴۷ | +۲ | ۴۶ | +۱۲ | ۶ | +۱۶ | ۲۹ | +۷ |
| ۱۱ | ۱۶ | −۵ | ۱۴ | −۵ | ۸ | +۳ | ۲ | +۱۳ | ۰ | +۱۶ | ۲ | +۷ |
| ۱۲ | ۲۴ | −۵ | ۵ | −۵ | ۲۹ | +۳ | ۱۸ | +۱۳ | ۵۳ | +۱۵ | ۳۴ | +۶ |
| ۱۳ | ۳۲ | −۵ | ۵۵ | −۴ | ۵۰ | +۳ | ۳۳ | +۱۳ | ۴۶ | +۱۵ | ۶ | +۶ |
| ۱۴ | ۳۹ | −۵ | ۴۴ | −۴ | ۱۱ | +۴ | ۴۷ | +۱۳ | ۳۷ | +۱۵ | ۳۸ | +۵ |
| ۱۵ | ۴۶ | −۵ | ۳۳ | −۴ | ۳۲ | +۴ | ۱ | +۱۴ | ۲۸ | +۱۵ | ۹ | +۵ |
| ۱۶ | ۵۲ | −۵ | ۲۱ | −۴ | ۵۳ | +۴ | ۱۴ | +۱۴ | ۱۸ | +۱۵ | ۴۰ | +۴ |
| ۱۷ | ۵۸ | −۵ | ۹ | −۴ | ۱۴ | +۵ | ۲۷ | +۱۴ | ۷ | +۱۵ | ۱۱ | +۴ |
| ۱۸ | ۳ | −۶ | ۵۷ | −۳ | ۳۵ | +۵ | ۳۹ | +۱۴ | ۵۶ | +۱۴ | ۴۲ | +۳ |
| ۱۹ | ۸ | −۶ | ۴۴ | −۳ | ۵۶ | +۵ | ۵۱ | +۱۴ | ۴۳ | +۱۴ | ۱۳ | +۳ |
| ۲۰ | ۱۲ | −۶ | ۳۰ | −۳ | ۱۸ | +۶ | ۲ | +۱۵ | ۳۰ | +۱۴ | ۴۳ | +۲ |
| ۲۱ | ۱۵ | −۶ | ۱۶ | −۳ | ۴۰ | +۶ | ۱۲ | +۱۵ | ۱۶ | +۱۴ | ۱۳ | +۲ |
| ۲۲ | ۱۸ | −۶ | ۱ | −۳ | ۱ | +۷ | ۲۲ | +۱۵ | ۱ | +۱۴ | ۴۳ | +۱ |
| ۲۳ | ۲۰ | −۶ | ۴۶ | −۲ | ۲۲ | +۷ | ۳۱ | +۱۵ | ۴۵ | +۱۳ | ۱۳ | +۱ |
| ۲۴ | ۲۲ | −۶ | ۳۰ | −۲ | ۴۳ | +۷ | ۴۰ | +۱۵ | ۲۸ | +۱۳ | ۴۳ | +۰ |
| ۲۵ | ۲۴ | −۶ | ۱۴ | −۲ | ۴ | +۸ | ۴۷ | +۱۵ | ۱۱ | +۱۳ | ۱۳ | +۰ |
| ۲۶ | ۲۵ | −۶ | ۵۸ | −۱ | ۲۵ | +۸ | ۵۴ | +۱۵ | ۵۳ | +۱۲ | ۱۷ | −۰ |
| ۲۷ | ۲۵ | −۶ | ۴۱ | −۱ | ۴۶ | +۸ | ۱ | +۱۶ | ۳۴ | +۱۲ | ۴۷ | −۰ |
| ۲۸ | ۲۴ | −۶ | ۲۴ | −۱ | ۶ | +۹ | ۶ | +۱۶ | ۱۴ | +۱۲ | ۱۶ | −۱ |
| ۲۹ | ۲۳ | −۶ | ۷ | −۱ | ۲۶ | +۹ | ۱۱ | +۱۶ | ۵۴ | +۱۱ | ۴۵ | −۱ |
| ۳۰ | ۲۱ | −۶ | ۴۹ | −۰ | ۴۶ | +۹ | ۱۵ | +۱۶ | ۳۳ | +۱۱ | ۱۴ | −۲ |
| ۳۱ | ۱۹ | −۶ | ۳۱ | −۰ | ۰۰ | ۰۰ | ۱۸ | +۱۶ | ۰۰ | ۰۰ | ۴۳ | −۲ |

است. مثلا در روز چهارم ژوئیه، اندازهٔ تعدیل زمان منهای ۴ دقیقه و ۸ ثانیه است. مقادیر این جدول، متوسط مقادیر است و سال بسال به‌مقدار کمی تغییر می کند و تغییرات آن، بستگی به نزدیکی سال مربوط، به‌سال کبیسه را دارد. مقادیر این جدول ممکن است بمیزان ۱۰ الی ۱۵ ثانیه در ماههای دسامبر و ژانویه، در بعضی سالها، اشتباه داشته باشد، اما میزان اختلاف مقادیر داده شده با مقادیر واقعی، هیچوقت در حدود یک دقیقه نخواهد بود.

تعدیل زمان ( EOT ) را می‌توان همچنین از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$EOT = ۹/۸۷ \sin ۲B - ۷/۵۳ \cos B - ۱/۵ \sin B \qquad (۷\text{-}۴)$$

$$B = \frac{۳۶۰(n - ۸۱)}{۳۶۴}$$

که در آن n ، شمارهٔ ترتیب روز درسال است $(۱ \leqslant n \leqslant ۳۶۵)$ .

جدول (۴-۷)

| اسم ماه در تقویم گرگوری | تعداد روزهای ماه | n |
|---|---|---|
| ژانویه | ۳۱ | i |
| فوریه | ۲۸ | ۳۱+ i |
| مارس | ۳۱ | ۵۹+ i |
| آوریل | ۳۰ | ۹۰+ i |
| مه | ۳۱ | ۱۲۰+ i |
| ژوئن | ۳۰ | ۱۵۱+ i |
| ژوئیه | ۳۱ | ۱۸۱+ i |
| اوت | ۳۱ | ۲۱۲+ i |
| سپتامبر | ۳۰ | ۲۴۳+ i |
| اکتبر | ۳۱ | ۲۷۳+ i |
| نوامبر | ۳۰ | ۳۰۴+ i |
| دسامبر | ۳۱ | ۳۳۴+ i |

مقادیر n در ماههای سال گرگوری، در جدول (۴-۷) داده شده است. حرف i در این جدول نمایانگر شمارهٔ ترتیب روز در ماه است. در این جدول، تعداد روزهای ماه‌فوریه ۲۸ روز است، و بنابراین این جدول برای سالهای غیر کبیسه است. در سالهای کبیسه،

می‌بایست به‌مقادیر داده شده از ماه مارس به‌بعد، عدد یک اضافه شود.
در ادامهٔ مطلب، فرمول (۴ـ۷) در طی یک‌مثال، بکار گرفته می‌شود.
**مثال (۳ـ۷)**—مقدار تعدیل زمان در روز چهارم ماه ژوئیه را محاسبه کنید.
**راه‌حل**—در روز چهارم ژوئیه مقدار i برابر چهار و در نتیجه با استفاده ازجدول (۴ـ۷) خواهیم داشت:

$$n = ۱۸۱ + ۴ = ۱۸۵$$

حال با استفاده از فرمول (۴ـ۷)،

$$B = \frac{۳۶۰(۱۸۵ - ۸۱)}{۳۶۴} = ۱۰۲/۸۵۷۱۱$$

$$EOT = ۹/۸۷ \sin(۲۰۵/۷۱۴۲۲) - ۷/۵۳ \cos(۱۰۲/۸۵۷۱۱)$$

$$- ۱/۵ \sin(۱۰۲/۸۵۷۱۱)$$

$$EOT = -۴/۰۶۹۲۳۶۴$$

$$EOT = -\text{(۴ ثانیه و ۴ دقیقه)}$$

با مقایسه با جدول این مقدار در حدود ۴ ثانیه کمتر است.
برای بدست آوردن مقادیر خیلی دقیقتر، می‌بایست از جداول نجومی استفاده شود. در جداول نجومی، مقادیر تعدیل زمان در نیمهٔ شب تمام روزهای سال، برای تمام نقاط واقع برروی نصف‌النهار گرینیچ داده شده و همچنین میزان تغییر مقادیر در طول یک‌ساعت نیمهٔ‌شب نیز بیان شده است. مقادیر تعدیل زمان در لحظهٔ نیمهٔ شب گرینیچ برای تمام نقاط دیگر کرهٔ زمین یکسان است.
چنانکه محاسبهٔ تعدیل زمان در ساعات دیگری غیر از نیمهٔ شب مورد نیاز باشد، از روش درونیابی (انترپولاسیون) می‌توان آن را محاسبه کرد. در این مورد به‌ذکر یک‌مثال می‌پردازیم:
**مثال (۴ـ۷)**—مقدار تعدیل زمان را در ساعت ۱۲ شمسی متوسط به‌وقت گرینیچ (GMT)[1]، در روز اول ژوئیه سال ۱۹۵۱، از روی مقادیر زیرکه از جدول نجومی

1. Greenwich Mean Time (GMT)

استخراج شده، محاسبه کنید.

(ثانیه ۲۸/۴۱ و دقیقه ۳)— = EOT در نیمهٔ شب متوسط گرینیچ در اول ژوئیه ۱۹۵۱

ثانیه ۱۱/۸۲ — = مقدار تغییر بین ساعت صفر (شروع روز) اول ژوئیه و ساعتِ صفرِ دوّم ژوئیه (مقدار تغییر در ۲۴ ساعت)

**راه‌حل** — مقدار تغییر تعدیل زمان در ۱۲ ساعت خواهد شد:

$$\frac{-۱۱/۸۲}{۲۴} \times ۱۲ = -۵/۹۱ \text{ ثانیه}$$

ثانیه ۵/۹۱ —(ثانیه ۲۸/۴۱ و دقیقه ۳)— = تعدیل زمان در ساعت ۱۲ گرینیچ

ثانیه ۳۴/۳۲ و دقیقه ۳ — = تعدیل زمان در ساعت ۱۲ گرینیچ

در این ساعت مقدار تعدیل زمان در سایر نقاط دنیا به همین اندازه خواهد بود.

در ادامهٔ مطلب، به‌فرمول شمارهٔ (۳-۷) برمی‌گردیم و آنرا در مثال زیر بکار می‌گیریم:

**مثال (۵-۷)** — وقت شمسی ظاهری در گرینیچ را در روز شانزدهم فوریهٔ ۱۹۵۱، در حالی که ساعت شمسی متوسط در گرینیچ ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح است، محاسبه کنید. مقدار تعدیل زمان در ظهر شمسی متوسط در گرینیچ در این تاریخ، منهای ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه و مقدار اضافه‌شدن آن را در ساعت، ۱ ثانیه بگیرید.

**راه‌حل** — مقدار تعدیل زمان در ظهر متوسط گرینیچ، منهای ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه است و از آنجایی که مقادیر تعدیل زمان در حال اضافه‌شدن است، لذا مقدار آن در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقهٔ صبح، کمتر از مقدارش در ظهر است. ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقهٔ صبح در گرینیچ، ۱/۵ ساعت زودتر از ظهر متوسط بوقوع می‌پیوندد و لذا مقدار تغییر تعدیل زمان در مدت ۱/۵ ساعت، خواهد شد: ثانیه ۱/۵ = (ثانیه ۱) × ۱/۵

در نتیجه، مقدار تعدیل زمان در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح گرینیچ، می‌شود:

(۸/۵ ثانیه و ۱۴ دقیقه) — = (۱/۵ ثانیه — ۱۰ ثانیه و ۱۴ دقیقه) —

با استفاده از فرمول (۳-۷) خواهیم داشت:

GAT[1] = GMT + EOT

GAT = ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه — (۸/۵ ثانیه و ۱۴ دقیقه)

GAT = ساعت ۱۰ و ۱۵ دقیقه و ۵۱/۵ ثانیه

که این جواب مسئله است.

1. Greenwich Apparent Time

روش محاسبه، برای تمام نقاط دیگر دنیا نیز به همین ترتیب است، فقطمی بایست وقت متوسط گرینیچ درلحظهٔ مورد نظر، محاسبه گردد

علاوه بر جداول نجومی، تعداد زیادی ازکشورها، جداولی را برای استفادهٔ نقشه‌برداران و دریانوردان بچاپ می‌رسانند که می‌توان مقادیر تعدیل زمان را از آنها نیز استخراج کرد. در جداول نجومی ساده‌ترکه فقط مربوط به‌خورشید، ستارهٔ قطبی و بعضی ستارگان انتخاب شدهٔ دیگر است، مقادیر تعدیل زمان نیز داده می‌شود.

## ۱۳. وقتِ استاندارد[1]

در بحثی که در بخشهای (۷-۷) و (۱۰-۷) بعمل آمد، نامناسب‌بودن وقت محلی تشریح شد. لحظه‌ای که خورشید به‌نصف‌النهار یک ناظر می‌رسد، به‌طول جغرافیایی ناظر، بستگی دارد. چون زمین در ۲۴ ساعت یکبار به‌دور خود یعنی ۳۶۰ درجه، می‌گردد، لذا تفاوت وقت محلی برای دو نقطه با اختلاف طول جغرافیایی ۱۵ درجه، برابر یکساعت می‌باشد و وقت، برای محلهای واقع در مشرق ناظر، جلوتراست.

قبل از عصر تلگراف و راه‌آهن، مسئلهٔ تفاوت وقت محلی، از محلی به‌محل دیگر، بسیارمهم نبود و فقط بعنوان مسئله‌ای جزیی قلمداد می‌شد. سرعت مسافرت، آرام بود و میزان لازم تصحیح وقت—به‌وقت محل جدید—زیاد نمی‌شد. تا قرن نوزدهم، وقت محلی، مبنای سنجش زمان در هر مکانی بود، اما رشد وسایل حمل‌ونقل، با سرعت زیاد و ارتباطات، نامناسب بودن سنجش وقت توسط زمان محلی را آشکار ساخت. به همین سبب در یک کنفرانس بین‌المللی در سال ۱۸۸۴، نصف‌النهارگرینیچ در انگلستان، بعنوان نصف‌النهارمبدء، درسنجش طول جغرافیایی، در نظر گرفته شد، و جهان به‌۲۴ منطقهٔ وقت استاندارد[2] تقسیم گشت. علت انتخاب ۲۴ منطقه، بسبب چرخش ۱۵ درجه‌ای زمین در ساعت است ($۲۴=۱۵^\circ \div ۳۶۰^\circ$). در این طبقه‌بندی، وقت هر منطقه، یکساعت از وقت مناطق همسایه جلوتر و یا عقب‌تر است و تمام محلهای واقع در یک‌منطقه، وقتی مشابه را بکار می‌گیرند که مربوط به‌وقت نصف‌النهارمرکزی منطقه است.

برای مثال، وقت شمسی متوسطِ منطقهٔ وقت استاندارد درگرینیچ، بر روی‌مدار صفر درجه استوار است و منطقهٔ وقت، از ۷/۵درجهٔ غربی تا ۷/۵درجهٔ شرقی امتداد

1. Standard Time 2. Standard Time Zone

دارد. مناطق وقت استانداردِ پشت سر هم واقع در مشرق نصف‌النهار گرینیچ، دارای وقتی جلوتر از وقت منطقهٔ وقت استانداردِ گرینیچ، به‌ازای یکساعت برای هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی است. بنابراین در طول جغرافیایی ۴۵ درجهٔ شرقی، وقت، سه‌ساعت (۳=°۱۵÷°۴۵) از وقت گرینیچ جلوتر است و وقتی که در گرینیچ ساعت ۱۲ ظهر است، در طول جغرافیایی ۴۵ درجهٔ شرقی، وقت ۳ بعدازظهر است. مناطق وقت استاندارد واقع در مغرب نصف‌النهار گرینیچ دارای وقتی عقبتر از وقت گرینیچ بازای یکساعت برای هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی است.

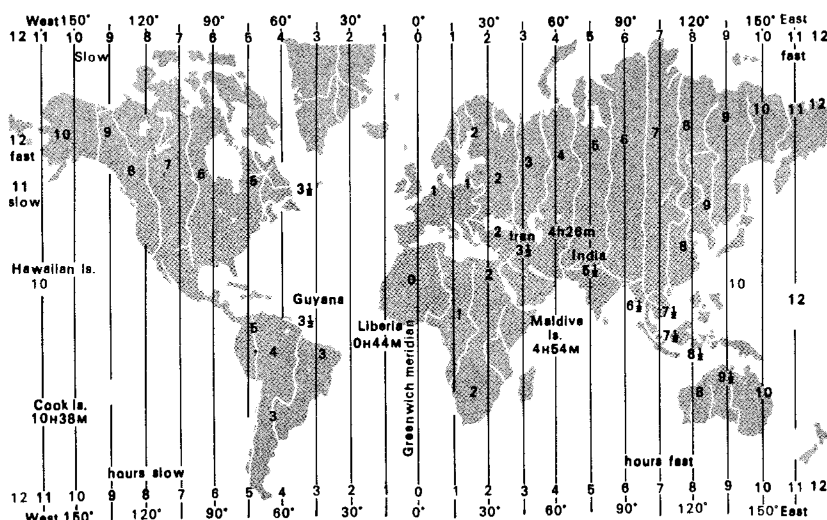
منطقهٔ وقت استاندارد در گرینیچ با وقت صفر ساعت و مناطق وقت استاندارد واقع در مشرق آن با وقتهای (۱—) ساعت، (۲—) ساعت، (۳—) ساعت و غیره... و همچنین مناطق وقت استاندارد واقع در مغرب گرینیچ با وقتهای (۱+) ساعت، (۲+) ساعت، (۳+) ساعت و غیره... مشخص می‌شوند. مناطق وقت استاندارد پشت‌سرهم، در نیمکرهٔ مقابل در خط بین‌المللی تاریخ[1]، بهم می‌رسند که در آن، منطقهٔ وقت استانداردِ واقع در مغرب خط، منطقهٔ (۱۲—) ساعت و منطقهٔ وقت واقع در مشرق خط، منطقهٔ (۱۲+) ساعت است. در خط بین‌المللی تاریخ، شخصی که از جهت مشرق بطرف مغرب، خط را قطع می‌کند، یک‌روز را از دست می‌دهد و یا بعبارت دیگر باید تاریخ مورد احتساب خود را یک‌روز به‌جلو بکشد، مثلا اگر قبل از عبور از خط، یکشنبه بوده است، بعد از عبور از خط برای او دوشنبه است. برعکس شخصی که از جهت مغرب بطرف مشرق، خط را قطع می‌کند، یک‌روز، بدست می‌آورد. خط بین‌المللی تاریخ، در سطح بین‌المللی شناخته شده و در اقیانوس آرام قرار دارد. بطور کلی این خط، در امتداد نصف‌النهار °۱۸۰ است، امّا برای راحت‌بودن کاربرد آن، خط فقط از دریا عبور می‌کند و خشکیها را شامل نمی‌شود. کشتیها در عبور از نصف‌النهار °۱۸۰ بطرف مشرق، یک‌روز از تاریخ کم و آنهایی که بطرف مغرب می‌روند یک‌روز به‌تاریخ اضافه می‌کنند.

نصف‌النهارِ مرکزی منطقهٔ وقت استاندارد[2]، که وقت منطقه بر آن استواراست، نصف‌النهارِ استاندارد[3] نامیده می‌شود و وقتی که بر مبنای نصف‌النهار استاندارد در نظر گرفته می‌شود، وقت استاندارد[4] نام دارد.

با توجه به‌تعریف منطقهٔ وقت استاندارد، می‌بایست حدود هر منطقه را یک نصف‌النهار معین، از قطب شمال تا قطب جنوب فرا گیرد، اما تعداد کمی از مناطق

1. International Date Line 2. Central Meridian of the Standard Zone

3. Standard Meridian 4. Standard Time




**شکل (۱۳-۷)—مناطق وقت استاندارد در دنیا. وقت استاندارد ایران ۳/۵ساعت و یا مربوط به‌نصف‌النهار استاندارد ۵/ ۵۲° درجهٔ غربی است.**

وقت استـاندارد دارای چنین حدودی هستند و بعلت ملاحظات سیاسی و اقتصادی، حدود منـاطق وقت استاندارد طوری انتخاب شده است که مناسب همهٔ کشورها باشد.

تعداد کمی ازکشورها از روش تعیین وقت با توجه به‌نصف‌النهار محل استفاده می‌کنند و روش جدید مناطق وقت استـاندارد را، بکار نبرده‌اند، در بعضی ازکشورها نیز بجای یکساعت کامل، از نصف ساعت استفاده شده، مثلا نصف‌النهار استاندارد مربوط به‌وقت استاندارد ایران، **۵۲/۵** درجهٔ غربی (۳/۵ ساعت) است. مناطق وقت استاندارد دنیا، درشکل (۱۳-۷)، نمایانده شده است.

بعنوان مثال نصف‌النهارهای استاندارد، که مبنای وقت استانداردند، برای چند کشور، درذیل می‌آید:

| طول جغرافیایی نصف‌النهار استاندارد | | کشور |
|---|---|---|
| ساعت | درجه | |
| ۰ دقیقه و ۰ ساعت | ۰ | انگلستان |
| شرقی ۳۰ دقیقه و ۵ ساعت | ۸۲/۵ شرقی | هند |
| غربی ۰ دقیقهٔ و ۶ ساعت | ۹۰ غربی | مناطق مرکزی‌آمریکا |
| شرقی ۰ دقیقهٔ و ۱ ساعت | ۱۵ شرقی | آلمان |
| شرقی ۳۰دقیقه و ۳ ساعت | ۵۲/۵ شرقی | ایران |

## ۱۴. وقتِ جهانی[1]

وقت شمسی متوسط گرینیچ[2]، در بسیاری ازموارد علمی و فنی به‌منظورهماهنگی بکارگرفته می‌شود. کاربرد وقت شمسی متوسط گرینیچ، در نقاط دیگر را اصطلاحاً وقتِ جهانی می‌نامندکه بطور خلاصه با حروف (UT) نشان داده می‌شود، امّا گاهی با اصطلاح وقت متوسط گرینیچ[3] و یا با حروف (GMT) نیز مشخص می‌شود. وقت جهانی درموارد اندازه‌گیری مبدء زمانی، درسطح وسیعی بکارگرفته می‌شود، مثلا درارتباطات جهانی و برنامهٔ پروازهای هوایی مورد عمل بوده و گاهی با حرف «Z» مشخص‌می‌شود.

در رصدهای نجومی که در رصدخانه‌های مختلف صورت می‌گیرد، با توجه به‌عبور ستاره، اوّل وقت جهانی (UT) بصورت (UTO) تعیین می‌شود. امّا این فرم زمان جهانی، هنوز با توجه به‌یک موافقتنامهٔ بین‌المللی، نیازمند تصحیحات‌جزیی است. UTO، به‌منظور تغییرات کم طول جغرافیایی در اثر حرکت قطبی[4]، به UT1 تصحیح می‌گردد. UT1 به‌نوبهٔ خود برای تصحیحات مورد لزوم ناشی از تغییرات فصلی در سرعت حرکت دورانی زمین، به UT2 تصحیح می‌شود. در حقیقت تفاوت بین UTO، UT1 و UT2 بسیاراندک است ومعمولا کمتر از ۰/۰۵ ثانیه می‌باشد.

وقتِ جهانی هماهنگ شده[5] (UTC)، بر مبنای ساعتهای اتمی، که طوری

1. Universal Time 2. The Mean solar Time of Greenwich
3. Greenwich Mean Time (GMT) 4. Polar Motion
5. Coordinated Universal Time

میزان می‌شوند که تا در اندازه‌گیری مبدء زمانی نزدیک به(UT2) باشند، تا حد۰/۵ ثانیه بدست می‌آید. وقت جهانی هماهنگ شده، سالی یک‌بار میزان می‌شود و در سطح وسیعی توسط علائم رادیویی در دنیا، پخش می‌گردد و این علائم، به‌نوبهٔ خود، برای میزان کردن ساعتها بکار گرفته می‌شوند.

## ۱۵. نامگذاری‌و اصطلاحات مربوط به در زندگی روزمره

در زندگی روزمره، اصطلاحات مختلفی در مورد وقت، بکار گرفته می‌شود. در بعضی از کشورها، اوقات و ساعتهای بین نصف شب و ظهر را با حروف.A. M مشخص می‌کنند. امّا اصطلاحات.12 A.M و یا .12 p. M را نباید بکار برد چه، تولید اشتباه می‌کند. اصطلاح ۱۲ ظهر[1]، واضح است و فقط به یک‌وقت معین در ظهر، مربوط‌می‌شود، امّا ساعت ۱۲ نصف شب[2] مربوط به‌وقت مشخصی نیست، زیرا برای مثال ممکن است منظور ساعت ۱۲ شب روز ۱۰ـ۹ ماه ژوئن و یا روز ۱۱ـ۱۰ ماه ژوئن باشد. لذا بجای ساعت ۱۲ نصف شب، اصطلاح نصف‌شب ۱۰ـ۹ ژوئن[3] بکار می‌رود.

برای رفع هرگونه اشکالی، در وقتهای نظامی روش نامگذاری ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقت توسط یک‌عدد چهاررقمی بیان می‌شود که دو رقم اوّل آن مربوط به‌ساعت و دورقم بعدی مربوط به‌دقیقه است. شروع روز در نصف شب درساعت 0000 و آخرین دقیقهٔ روز درساعت 23,59 است. کلمهٔ ساعت بعد از عدد چهاررقمی آورده نمی‌شود. بنابراین 0830 به‌معنای .8: 30A. M و 2315 به‌معنای 11 : 15 .P. M است. در اینجا عدد 2400 در دهم ماه ژوئن[4] با عدد 0000 در یازدهم ماه ژوئن[5] مشخص کنندهٔ یک‌وقت‌اند. روش تقسیم ۲۴ ساعتهٔ روز در قارهٔ اروپا بکار رفته و و اوقات برنامه‌های پروازها در دنیا بر این مبناست.

## ۱۶. تبدیل وقت شمسی ظاهری‌محلی به وقت شمسی استاندارد

تابحال با توجه به‌فرمول (۳ـ۷)، روش تبدیل وقت ظاهری محلی (LAT) به‌وقت متوسط محلی (LMT) را دریافته‌ایم. بنابراین برای تبدیل وقت استاندارد[6]

1. Twelve Noon 2. Twelve Midnight 3. Midnight of June 9–10
4. 2400 of 10 June 5. 0000 of 11 June 6. Standard Time (ST)

(ST)به‌وقت ظاهری محلی، لازم است ابتدا وقت متوسط استاندارد را به‌وقتِ متوسط محلی تبدیل کرده، سپس با استفاده از فرمول (۳ـ۷)، آن را به‌وقت ظاهری محلی تبدیل کنیم.

اختلاف بین وقت استاندارد و وقت متوسط محلی در یک‌محل، برابر اختلاف طول جغرافیایی محل و طول جغرافیایی نصف‌النهار استاندارد است. اگر نصف‌النهار محل در مشرق نصف‌النهار استاندارد باشد، خورشید در حرکت روزانهٔ ظاهری خود از مشرق به‌مغرب، اوّل‌بار از نصف‌النهار محل عبور می‌کند و در نتیجه، وقت محلی، از وقت‌استاندارد جلوتر است. همچنین اگر نصف‌النهار محل در مغرب نصف‌النهار استاندارد باشد، خورشید ابتدا از نصف‌النهار استاندارد عبور می‌کند و لذاوقت استاندارد، جلوتر از وقت محلی است. قبلا هم گفته شده‌که هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی برابر یکساعت و هریک درجه، برابر چهار دقیقهٔ زمانی است، لذابسادگی می‌توان رابطهٔ زیر را بین وقتِ متوسط محلی (LMT) و وقتِ استاندارد (ST) نوشت:

$$LMT = ST \pm LA\left(\frac{E}{W}\right) \qquad (۷-۵)$$

LA عبارت مربوط به‌تصحیح طول جغرافیایی[1] است و خود از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

(۶ـ۷) (طول جغرافیایی محل ــ طول جغرافیایی نصف‌النهار استاندارد) ۴ = LA

در فرمول (۵ـ۷) علامت LA، در صورتی‌که نصف‌النهار محل در مشرق نصف‌النهار استاندارد باشد، مثبت (+) و درصورتیکه در مغرب نصف‌النهار استاندارد باشد، منفی (−) است و عبارت $\pm\frac{E}{W}$ نیز به‌همین معنی است.

از ادغام فرمولهای (۳ـ۷) و (۵ـ۷) فرمول زیر بدست می‌آید که می‌توان آن را برای تبدیل وقتِ ظاهری محلی به وقتِ استاندارد، بکار برد:

$$LAT = ST + EOT \pm LA\left(\frac{E}{W}\right) \qquad (۷-۷)$$

در این فرمول، تصحیح مربوط به‌تغییر وقت، که معمولا در ماه مارس یا آوریل، وقت، به‌مدت یکساعت جلوکشیده می‌شود و دوباره در ماه سپتامبر یا اکتبر به‌وقت طبیعی برگردانده می‌شود، منظور نشده است. این فرمول همان فرمولی است که تحت‌شمارهٔ (۱ـ۳) در فصل اوّل کتاب آورده شده است. در ادامهٔ مطلب، چگونگی استفاده از فرمول، درطی یک‌مثال، نشان داده می‌شود.

1. Longitude Adjustment (LA)

**مثال (۵ـ۷)**— تعیین کنید که در روز ۲۲ مهرماه (چهاردهم اکتبر)، در محلی در تهران با طول جغرافیایی °۵۱ و ′۲۵ و ″۳۹ شرقی، ظهر شمسی ظاهری در چه ساعتی است.

**راه‌حل**—وقتی که ظهر شمسی ظاهری است، خورشید واقعی از نصف‌النهارمحل عبورکرده و ساعت شمسی ظاهری محلی، ساعت ۱۲ ظهر است (LAT = ۱۲ ). نصف‌النهار استاندارد وقت استانداردِ ایران، ۵۲/۵درجهٔ شرقی است و نصف‌النهار محل مورد نظر (°۵۱/۴۲۷۵شرقی) در مغرب نصف‌النهار استاندارد است، پس خواهیم داشت:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$LA = ۴(۵۲°/۵ - ۵۱°/۴۲۷۵) = ۴/۲۹ \text{ دقیقه}$$

تعدیل زمان در چهاردهم ماه اکتبر با استفاده از جدول (۳ـ۷)، برابر (۴۷ ثانیه و ۱۳دقیقه)+و یا (۱۳/۷۸۳۳۳+دقیقه) است، پس خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + ۱۳/۷۸۳۳۳ - ۴/۲۹$$

ST= ۱۱ ساعت و ۵۰/۵۰۶۶۷ دقیقه

ST= ۱۱ ساعت و ۵۰دقیقه و ۳۰/۴۰ ثانیه

بنابراین در روز ۲۲ مهرماه، خورشید در ساعت ۱۱ و۵۰دقیقه و۳۰/۴۰ثانیهٔ قبل ازظهر از نصف‌النهار محل موردنظر در تهران عبور می‌کند.

چنانکه قبلا هم توضیح داده شده، لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النهار محل، همان ظهر شرعی است و لذا مثال مذکور، روش محاسبهٔ ظهر شرعی را نیز نشان می‌دهد.

## ۱۷. جلو بردن ساعت به‌منظور استفادهٔ بیشتر از روشنایی روز[1]

تعداد زیادی ازکشورها وقت خود را در ماههای تابستان باندازهٔ یک‌ساعت به‌جلو می‌برند، مثلا ساعت ۶ صبح ( 6A.M. )، مبدل به‌ساعت ۷ صبح می‌شود ( 7A.M. ). این عمل، باعث می‌گردد که یک‌ساعت از روشنایی ساعات اولیهٔ روز، که کمتر مورد استفاده است، به‌ساعات آخر روز، که بیشتر مورد استفاده است، منتقل

1. Day light Saving Time

گردد. این کار عملا در مناطق شهری موجب صرفه‌جویی است، چه، تولید کنندگان و کارخانه‌ها در مصرف برق صرفه‌جویی می کنند و در منازل از روشنایی ساعات غروب خورشید استفاده می‌شود. البته این روش در کشورهای شمالی که طبیعتاً دارای روزهای بلند و شبهای کوتاه هستند و یا در مناطق حاره که طول شب و روز تقریباً برابر می‌باشد، فایدهٔ زیادی ندارد. در کشورهایی که ساعت، به‌جلو برده می‌شود، باید بخاطر داشت که آنچه را که ساعت نشان می‌دهد، یکساعت جلوتر از وقت واقعی است، و لذا هنگامی که فرمول (۷-۷) به‌منظور محاسبهٔ وقت ظاهری محلی ( LAT ) بکار برده می‌شود، می‌بایست در مقدار وقت استاندارد (ST ) تصحیح لازم صورت گیرد.

## فصل هشتم

# شکل زمین

شکل زمین تقریباً کروی است و به‌منظور ساده‌تر کردن محاسبات ریاضی، آن را به‌شکل کرهٔ کامل فرض می کنند. در بیشتر روشهای تعیین جهت قبله، که در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفت، شکل زمین کاملاً کروی فرض می‌شد. این تصور، موجب شد که با کاربرد فرمولهای مثلثات کروی، حل مسئله، کاملاً آسان شود. امّا زمانی که تعیین جهت قبله از راه امتداد سایهٔ یک شئی قائم در تاریخهای معین صورت می‌گیرد، توجه به‌شکل واقعی کرهٔ زمین بسیار اهمیت پیدا می کند. این مطلب با مطالعهٔ مختصری در علم زمین پیمایی[1] (ژئودزی)، روشنتر می‌شود.

ژئودزی رشته‌ای از علوم است که در آن، دربارهٔ تعیین شکل ریاضی سیارهٔ زمین، ابعاد و میدان گرانشی[2] آن، بحث می‌شود. در این فصل، منظور، پرداختن به‌علم زمین پیمایی نیست و فقط پاره‌ای از مباحث آن بصورت مختصر شرح داده می‌شود.

## ۱. کره[3]

کره، سطح مسدودی است که تمام نقاط واقع بر روی آن، از نقطه‌ای به‌نام مرکز، دارای فواصل مساوی است، که این فاصله مساوی را شعاع کره، نامند. فصل مشترک هر صفحهٔ مسطحی با کره، یک دایره است. فصل مشترک هر صفحهٔ مسطحی، که از مرکز کره بگذرد، با کره، یک دایرهٔ عظیمه[4] است.

1. Geodesy  2. Gravitational Field  3. Sphere  4. Great Circle

## ۲. بیضوی[1]

بیضوی سطح مسدودی است که مقطع مسطح آن در تمام جهات، بیضی باشد؛ این بدان معنی است که فصل مشترک هر صفحهٔ مسطح با بیضوی، یک بیضی است. درعلم زمین پیمایی، معمولا بین انواع مختلف بیضوی ازقبیل بیضوی دوار[2] یا بیضوی دو محوره[3] و بیضوی سه محوره[4] وجه تمایز وجود دارد. بیضوی سه محوره، یک بیضوی است که طول سه محور اصلی آن، مختلف باشد.

## ۳. شبه کره[5]

سطح مسدودی که از دوران یک بیضی، حول یکی ازمحورهای اصلی (قطرهای آن)، بدست می‌آید، شبه کره نامیده می‌شود. همچنین شبه کره را بیضوی دوار[6] نیز می‌نامند. شبه کره در حقیقت یک بیضوی است که دو محور از سه محور اصلی آن برابر است و به همین جهت، آن را بیضوی دو محوره می‌نامند.

اگر محور دوران، قطر اطول بیضی باشد، شبه کره را، شبه کرهٔ کشیده[7] و در صورتیکه قطر اقصر آن باشد، شبه کره را، شبه کرهٔ پخت[8] نامند.

یک بیضوی پخت دارای مشخصات زیر است:

۱. بجز صفحات مسطحی که بر محور دورانی[9] (محور اقصر)[10] بیضوی پخت عمودند، فصل مشترک هر صفحهٔ مسطح دیگری با آن، یک بیضی است. فصل مشترک صفحات مسطح عمود بر محور دورانی، دایره‌ای است.

۲. چنانکه محور کوچکتر یک بیضوی پخت را محورقطبی[11] و محور بزرگتر آن را، محوراستوایی[12] بنامیم، سطح مقطع صفحات مسطحی که ازمحورقطبی می‌گذرند، با بیضوی پخت، یک بیضی است که قطر بزرگتر آن قطر استوایی[13] وقطر کوچکتر آن قطر قطبی[14] است.

معمولا بیضوی پخت را با طول نصف قطر اطول[15] (a) و یکی از روابط زیر

1. Ellipsoid 2. Rotational Ellipsoid 3. Biaxial Ellipsoid
4. Triaxial Ellipsoid 5. Spheroid 6. Ellipsoid of Revolution
7. Prolate Ellipsoid 8. Oblate (Flattened) Spheroid 9. Rotation Axis
10. Minor Axis 11. Polar Axis 12. Equatorial Axis 13. Equatorial Diameter
14. Polar Diameter 15. Semimajor Axis

مشخص می کنند:

$$f=\frac{a-b}{a} \qquad (۸-۱)$$

که در آن (f)، فشردگی[1] بیضوی و (b) نصف قطر اقصر[2] است.

$$e=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}} \qquad (۸-۲)$$

که (e) خروج از مرکز اولیه[3] است.

$$é=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2}} \qquad (۸-۳)$$

که (é) خروج از مرکز ثانویه[4] است.

## ۴. تاریخچهٔ شکل زمین

اولین تصور بشر از زمین، یک سطح مسطح محکم، واقع در مرکز عالم بوده است. خورشید، ماه، سیارات و ستارگان، در حال چرخش به‌دور این سطح مسطح بنظر می رسیدند.

اولین متفکری که از نظریهٔ کروی شکل بودن زمین دفاع کرده پارمندیز[5]، یک یونانی در قرن پنجم قبل از میلاد از اهالی اِلیا[6] (شهری در جنوب غربی یونان قدیم) بوده است. فیثاغورث[7] و افلاطون[8] نیز گرد بودن زمین را اظهار کرده‌اند و ارسطو[9] دلایل قانع کننده‌ای برای گرد بودن آن ارائه کرده است.

ارسطو خاطرنشان ساخت که چون لبهٔ سایهٔ زمین بر روی ماه، بهنگام ماه‌گرفتگی، گرد است، لذا زمین گرد است. او همچنین اظهار داشت که مردم نقاط مختلف، ستارگان مختلفی را در آسمان مشاهده می کنند و این نمی‌تواند در مورد یک زمین مسطح مصداق داشته باشد و فقط درصورت گرد بودن زمین این مطلب، ممکن می‌گردد.

بعد از ارسطو، دانشمند سرشناسی، کروی شکل بودن زمین را انکار نکرده است. یک افسانهٔ بی‌اساس درمورد سفر کلمبوس[10] وجود دارد که او سفر مشهور خود را در

1. Flattening 2. Semiminor Axis 3. First Eccentricity
4. Second Eccentricity 5. Parmendies 6. Elea 7. Pythagoras
8. Plato 9. Aristotle 10. Columbus

سال ۱۴۹۲ به‌منظور ثابت کردن گردی زمین انجام داد.

نخستین تغییر در تصورات راجع به‌شکل زمین از کشف انجام شده توسط ژان ریچر[۱]، یک منجم فرانسوی، حاصل شد. ریچر کشف کرد که دورهٔ نوسان یک پاندول ساده از یک عرض جغرافیایی به‌یک عرض جغرافیایی دیگر، تغییر می‌کند.

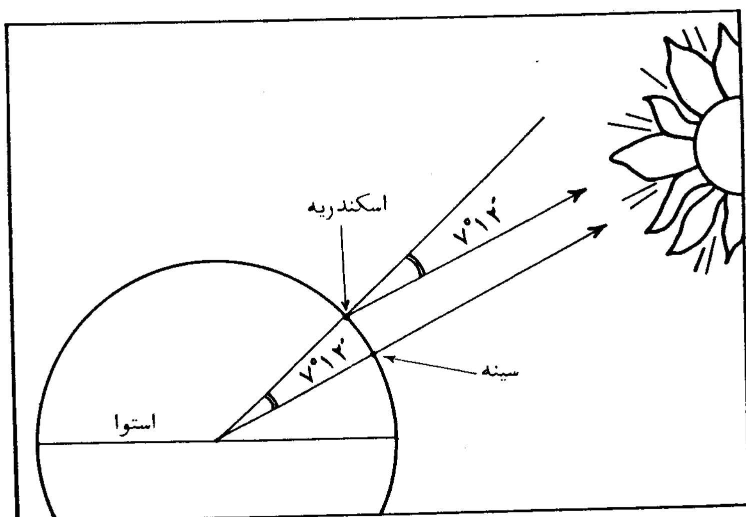
اسحق نیوتن[۲] در اثر خود به‌نام **پرنسیپیا**[۳]، (در سال ۱۶۸۷)، کشف ریچر را چنین توجیه کرد که شکل زمین یک شبه‌کرهٔ پختِ دوار[۴] است، بدینترتیب که در قطبها فشرده و پَخْتْ و در نواحی استوایی برجسته است. به‌عقیدهٔ نیوتن چنین شکلی نتیجهٔ حرکت دورانی زمین حول محورش بوده که نیروی گریز از مرکز بر روی ذرات، موجب برآمدگی ناحیهٔ استوایی شده است. از این مطلب چنین نتیجه شد که گرانش در سطح زمین[۵] (و دورهٔ نوسان یک‌پاندول) از ناحیهٔ استوایی، به‌طرف قطبها، باندازهٔ ضریب $\frac{۲}{۲۸۹}$ که توسط نیوتن محاسبه شد، افزایش می‌یابد.

گرچه فیلسوفان قبلی، نتیجه‌گیری کرده بودند که زمین به‌شکل کره است، اما نخستین تلاش شناخته شده در اندازه‌گیری اندازهٔ زمین، توسط ارسطو در قرن چهارم قبل از میلاد گزارش شده است. اندازه‌ای که ارسطو برای محیط زمین داده است —۴۰۰،۰۰۰ استادیا[۶] است. — استادیا، یا استادیومز[۷] جمع کلمهٔ استادیوم[۸] است—. استادیوم هریک از واحدهای مختلف طول در یونان باستان است که طول آن برابر ۶۰۷ تا ۷۳۸ فوت انگلیسی[۹] و یا برابر اندازه‌های متغیر دیگر است. قطر زمین با توجه به‌اندازهٔ داده شده توسط ارسطو، درحدود ۱۲،۴۶۱ مایل (۲۰،۰۵۴ کیلومتر) می‌شده است که اندازهٔ واقعی آن ۷،۹۳۰ مایل (۱۲،۷۶۲ کیلومتر) است.

در ۲۵۰ سال قبل از میلاد، یک یونانی اهل اسکندریه[۱۰] به‌نام اراتوس‌تنز[۱۱]، علم هندسه را در اندازه‌گیری ابعاد کلی زمین بکار گرفت. اراتوس‌تنز (۲۷۶-۱۹۵ قبل ازمیلاد) یک منجم، ریاضی‌دان، جغرافی‌دان، فیلسوف و شاعر یونانی بود که بخاطر اندازه‌گیری استادانهٔ محیط زمین بخوبی شناخته شده است. در سینه[۱۲] (آسوان[۱۳] فعلی)، که یک شهر درمصر، درقسمت بالای رود نیل است، درحدود ۵،۰۰۰ استادیا (۵۰۰ مایل) بطرف جنوب اسکندریه[۱۴]، یک چاه عمیق خشک وجود داشت. اراتوس‌تنز

1. Jean Richer 2. Isaac Newton 3. Principia
4. Oblate Spheroid of Rotation 5. The gravity at the earth's surface
6. Stadia 7. Stadiums 8. Stadium 9. English Foot
10. Alexandrian Greek 11. Eratosthenes 12. Syene 13. Aswan 14. Alexandria

دریافته بود که در روز انقلاب تابستانی، اشعه نور خورشید، در محل چاه، کاملا بصورت عمودی تابیده و ته چاه را روشن می کند؛ این بدان معنی است که خورشید در آن روز در سینه کاملاً درسمت‌الرأس و یا بالای سر قرار داشته‌است. در اسکندریه درهمان روز، اشعهٔ نور خورشید درظهر بصورت قائم نمی‌تابید و اشیاء قائم دارای سایه بودند. او، زاویهٔ بین اشعهٔ نور خورشید و امتداد قائم را در اسکندریه، در روز انقلاب تابستانی اندازه‌گیری کرد. با توجه به‌دور بودن خورشید از زمین، تمام اشعهٔ نور خورشید بصورت موازی به‌زمین می‌رسند و با فرض اینکه سینه و اسکندریه بر روی یک نصف‌النهار واقعند، او توانست با کاربرد روابط سادهٔ هندسی، دریابد که اختلاف زاویهٔ بین سینه و اسکندریه درحدود $\frac{۱}{۵۰}$ محیط یک دایره یعنی ۷ درجه و ۱۲ دقیقه می‌باشد که نمایانگر اختلاف عرض جغرافیایی بین دو محل است، شکل (۱-۸). فاصلهٔ مستقیم بین دو محل که از اندازه‌گیری مستقیم بدست آمد در حدود ۵،۰۰۰ استادیا بود که نمایانگر $\frac{۱}{۵۰}$ محیط زمین می‌شد. به ۲۵۰،۰۰۰ استادیای بدست آمده برای محیط زمین، حدود ۲،۰۰۰ استادیا، برای جبران اشتباهات، اضافه کرد و رقم ۲۵۲،۰۰۰ استادیا را بدست




شکل (۱-۸)— چگونگی محاسبهٔ محیط زمین توسط اراتوس تنز. او، دریافت که در ظهر روز انقلاب تابستانی در سینه، خورشید کاملا از بالای سر می‌تابید، اما در اسکندریه به‌فاصلهٔ ۵۰۰ مایلی (۸۰۰ کیلومتری) در شمال سینه، امتداد اشعهٔ موازی خورشید با امتداد قائم در آنجا، زاویهٔ ۷° و ۱۲′ می‌ساخت. از این مطلب او قطر زمین را درحدود ۷۸۰۰ مایل (۱۲۷۳۰ کیلومتر) محاسبه کرد.

آورد. این رقم، محتملا برابر ۲۴،۵۰۰ مایل و یا حدود ۴۰،۰۰۰ کیلومتر است. روش اراتوس‌تنز، کاملا از نظر تئوری صحیح است. امّا معادل امروزی یک استادیوم، قضاوت در دقت اندازه‌گیری او را مشکل می‌کند.

نتیجهٔ اندازه‌گیری اسکندریه، به‌طریقی فراموش و یا گم شد. تا اینکه کلمبوس در ۱۷۰۰ سال بعد، مسافرت خود به‌دور زمین و بسوی مغرب را آغاز کرد تا به هند شرقی[1] برسد، امّا او زمین کوچکتری را در مدّ نظر داشت. علی‌رغم آنچه که در افسانه است، کلمبوس مانند هر ناخدای هم‌زمان خود می‌دانست که زمین کروی است، اما آنچه که او نمی‌دانست، اندازهٔ واقعی کرهٔ زمین و یا نتیجهٔ اندازه‌گیری اراتوس‌تنز بود که در قرن شانزدهم، با دریانوردی به‌دور زمین، دوباره مسجل شد.

در عهد رنسانس[2] مهمترین اندازه‌گیری زمین توسط منجم فرانسوی، ژان فرنل[3] در قرن شانزدهم صورت گرفت، نتیجهٔ کار او تا حدود ۸۰ مایل (۱۲۸ کیلومتر) اندازهٔ واقعی بود. در روش او و سایر اندازه‌گیریهای دیگر، طول یک قسمت از یک نصف‌النهار بین دو محل، اندازه‌گیری می‌شد و سپس با تعیین عرض جغرافیایی ابتدا و انتهای قطعهٔ نصف‌النهار، از راه رصدهای نجومی، محیط زمین محاسبه می‌شد.

قرنها قبل از رنسانس و در دوران درخشان تمدن اسلامی، اندازه‌گیریهایی به‌منظور تعیین طول شعاع زمین صورت گرفته است.

در قرن هفدهم، روش استاندارد اندازه‌گیری، تعیین طول یک درجه از نصف‌النهار برحسب مایل بود که سپس قطر زمین از روی آن محاسبه می‌شد. تعداد زیادی اندازه‌گیری با کاربرد این روش صورت گرفت، امّا اولین اندازه‌گیریِ واقعاً دقیق توسط منجم فرانسوی، ژان پیکارد[4]، صورت پذیرفت. او در سال ۱۶۷۱ در نزدیکی پاریس با دقت چند یارد طول یک درجهٔ نصف‌النهار را اندازه گرفت.

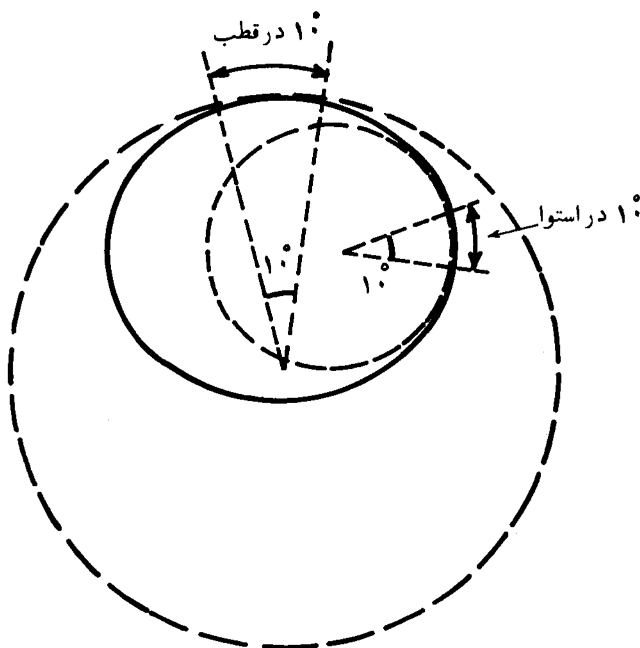
بعدها چندین سفر ژئودتیکی مهم برای اندازه‌گیری یک درجه از نصف‌النهار، در عرضهای جغرافیایی مختلف، صورت گرفت. مهمترین سفر توسط دولت فرانسه و آکادمی علوم پاریس[5] ترتیب داده شد. یک هیئت، در سال ۱۷۳۵ به‌پرو[6] رفت و حدود ده سال را در آنجا گذراندند، هیئت دیگر در سالهای ۱۷۳۶ و ۱۷۳۷ برای اندازه‌گیریهای مشابه به‌لاپلند[7] (منطقه‌ای در شمال اروپا در بالای مدار قطب شمال[8]

1. Indies (East Indies)  2. Renaissance  3. Jean Frenel
4. Jean Picard  5. Paris Académie des Sciences  6. Peru
7. Lapland (Lappland)  8. Arctic Circle

درکشورهای نروژ[1]، سوئد[2] و فنلاند[3]) رفت. اندازهٔ یک درجهٔ نصف‌النهار در لاپلند بزرگتر از اندازهٔ بدست آمده در پرو بود و این خود نظریهٔ نیوتن را درمورد اینکه زمین به‌شکل یک شبه کرهٔ پخت است، تأیید کرد، شکل (۲-۸).

تا پایان قرن هجدهم، اندازه‌گیریهای ژئودتیکی در اروپا انجام شد. محرک چنین تحقیقاتی مجلس مبعوثان فرانسه[4]، در سال ۱۷۹۱ بود، که تصمیم گرفت یک واحد جدید طول یعنی متر را پیشنهاد کند. از آنجایی که متر بعنوان ده‌میلیونیم نصف‌النهار ۹۰ درجه‌ای تعریف شده بود، لذا تعیین دقیق اندازهٔ زمین امری واجب می‌نمود.

در قرن نوزدهم اندازه‌گیریهای وسیعی در آسیا، آفریقا و نیم کرهٔ غربی[5] صورت پذیرفت که اطلاعات جامعی را برای اندازه‌گیری فواصل نقاط دوردست بر روی زمین، با




شکل (۲-۸) — پختی[6] زمین. طول ده‌درجه از یک نصف‌النهار، که نمایانگر ده درجهٔ اختلاف درعرض جغرافیایی است، درناحیهٔ قطبی بیشتر از ناحیهٔ استوایی است. لذا انحنای[7] زمین، که توسط دایره‌های خط‌چین نمایانده شده‌اند، در استوا بیشتر از قطب است.

1. Norway 2. Sweden 3. Finland 4. French Constituent Assembly
5. Western Hemisphere 6. Oblateness 7. Curvature

تقریب ۲،۰۰۰ فوت (۶۱۰ متر)، بدست داد. در سال ۱۸۸۶، ژئودزیست[1] انگلیسی به‌نام الکساندر کلارک[2] شکل زمین را بعنوان شبه کره‌ای پخت با ابعاد زیر، پیشنهاد کرد:

نصف قطر اطول، ۳۹۶۳/۲۶۶ مایل (۶،۳۷۸/۲۸۲ کیلومتر)،

نصف قطر اقصر، ۳،۹۴۹/۷۹۰ مایل (۶،۳۵۶/۵۹۴ کیلومتر) و

درجهٔ فشردگی $\frac{۱}{۲۹۴/۱۷۲۳۰۶۳}$

در سالهای بعد از کارِ الکساندر کلارک، پیشرفت وسایل اندازه‌گیری و روشها، تعیین دقیقتر شکل و اندازهٔ زمین را ممکن ساخت.

امروزه با کمک اطلاعات بدست آمده در سال بین‌المللی جغرافیایی[4] (۱۹۵۸-۱۹۵۷)، اطلاعات دقیقی راجع به‌ابعاد زمین در دسترس است.

چنانکه قبلا توضیح داده شد زمین دوار به‌شکل یک شبه کرهٔ پخت درآمده است. بنابراین یک بیضوی دوار بهتر از یک کره می‌تواند نمایانگر شکل زمین باشد، اگرچه چنین بیضوی خود یک سطح ریاضی کاملی است.

پارامترهای بهترین بیضوی دواری که می‌تواند نمایانگر شکل زمین باشد، به‌نام بیضوی مبنا[5]، توسط انجمن بین‌المللی ژئودزی[6] در سال ۱۹۶۷، به‌شرح زیر تعیین شد:

نیم‌قطر اطول (a)، ۳،۹۶۳/۱۹۷ مایل (۶،۳۷۸/۱۶۰ کیلومتر)،

نیم‌قطر اقصر (b)، ۳۹۴۹/۹۰۹ مایل (۶،۳۵۶/۷۷۴ کیلومتر) و

فشردگی (f) و یا ($\frac{a-b}{a}$) برابر $\frac{۱}{۲۹۸/۲۴۷۱۶۷۴}$

چنین بنظر می‌رسد که این ارقام تا رقم ششم دقیق باشد.

با توجه به‌این ارقام، اندازهٔ قطر زمین در استوا، ۲۶/۵۷۶ مایل از اندازهٔ آن از قطب به‌قطب، بیشتر است.

حتی اندازه‌گیریهای دقیقتر، که توسط قمر مصنوعی آمریکایی وانگاردیک[7] صورت گرفته، چنین نشان داده است که برجستگی استوایی، دقیقاً متقارن نیست و بلندترین نقطهٔ آن (کم و بیش در حدود ۲۵ فوت) کمی در جنوب خط میانی استوایی[8] قرار دارد.

1 Geodesist 2. Alexander Clarke 3. Degree of Flattening

4. International Geographical Year 5. Reference Ellipsoid

6. International Association of Geodesy 7. IGY Vanguard I Satellite

8. Equatorial Mid-Line

در اثر اندازه‌گیریهای دقیقتر، عده‌ای از نویسندگان، شکل شبه کرهٔ پخت را برای زمین، فراموش کرده و بجای آن، شباهتی مانند شکل گلابی[1] را ذکر کرده‌اند.

برای تصور اختلاف بین قطر زمین در استوا و از قطب به‌قطب، می‌توان مقیاس کوچکتری را در نظر گرفت. چنانکه ابعاد زمین را تا حدی کوچک کنیم که قطر آن ۵ فوت باشد، چشم انسان قادر به‌تشخیص اختلاف طول، بین دو قطر آن که در حدود $\frac{۱}{۵}$ اینچ می‌شود، نخواهد بود. بر روی چنین کرهٔ کوچکی، چشم دیگر قادر به‌تشخیص ارتفاعات نیست و بعبارتی دیگر چنانکه سطح چنین کره‌ای را رنگ کنیم. پستی و بلندیهای بسیار کوچک رنگ، درمقیاس خود از پستی و بلندیهای زمین بزرگتر خواهند بود.

سوراخ کوچکی که توسط یک‌سوزن بر سطح چنین کره‌ای ایجاد شود، درمقیاس خود عمیقتر از هرگونه حفاریهای انجام شده برسطح زمین است.

## ۵. سطوح مبنای ژئودتیک[2]

وضعیت یک نقطه بر روی زمین، بنحوی که توسط سازندگان نقشه، تفسیر می‌شود، عبارت از وضعیت نقطه نسبت به‌یک سطح مبناست؛ چنانکه در رسم نقشه مرسوم است، سطح مبنا بعنوان جایگزین سطح واقعی زمین انتخاب می‌شود.

مهمترین سطوح مبنا که معمولا بکار می‌روند عبارتند از، کره، شبه کره و شکل زمین‌گون[3] است. وضعیت یک نقطه، معمولا توسط مختصاتی مانند عرض، طول و ارتفاع نسبت به‌سطح مبنا، تعریف می‌شود. اغلب، بین مختصات کروی[4]، مختصات ژئودتیک[5] و مختصات نجومی[6] که سطح مبنای آنها به‌ترتیب کره، شبه کره و شکل زمین‌گون است، تفاوت وجود دارد. با توجه به‌این تفسیر، مختصات جغرافیایی[7]، یک اصطلاح کلی است و شامل هر سه نوع مختصات ذکر شده است.

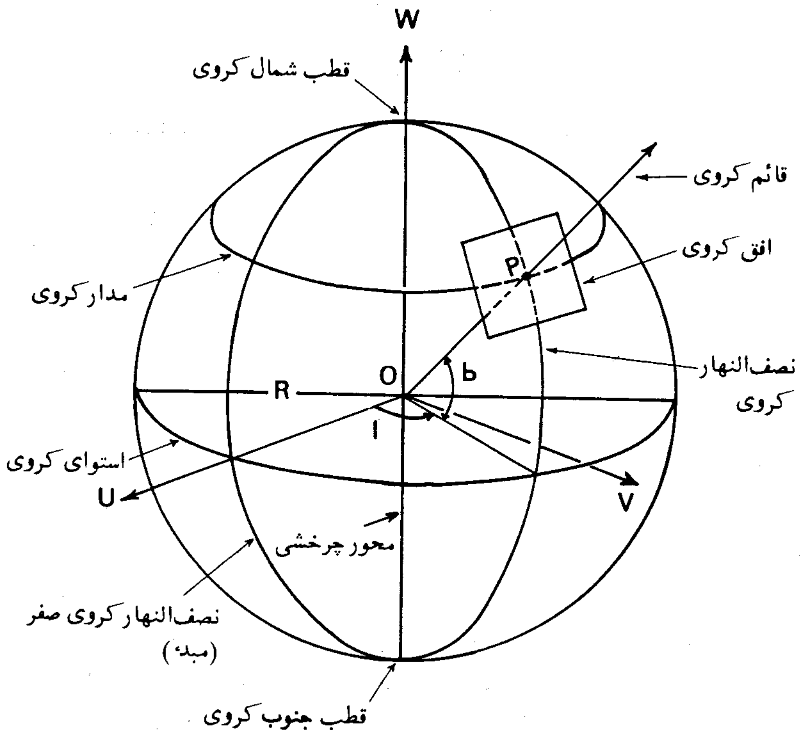
**۱ــ۵. مختصات کروی** ــ در فصل اوّل کتاب، مختصات کروی، مورد استفاده قرارگرفته است، اما در اینجا این نوع مختصات به همراه انواع دیگر، تشریح می‌گردد که فهم مطلب ساده‌تر شده و اثر هر کدام از دستگاههای مختصات در قبله‌یابی روشن گردد. در اینجا اصطلاحات مختلفی نسبت به‌آنچه که در فصل اوّل بکار رفت، بکار

1 Pear Shaped 2. Geodetic Reference Surfaces 3. Geoid
4 Spherical Coordinate 5. Geodetic (Spheroidal) Coordinates
6 Astronomic Coordinates 7. Geographic Coordinates

گرفته می‌شود. این مطلب بعلت بکار بردن سطح مبناهای مختلف است.

مختصات کروی، چنانکه از اسم آن پیداست، دستگاه مختصاتی است که سطح مبنای آن یک کره است. اگر کرهٔ مبنا، حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، دوران داشته باشد، سطح عمود بر محور دوران، استوای کروی[1] نامیده می‌شود. دوایرعظیمه‌ای که سطح مولد آنها شامل محور دوران است، به‌نام نصف‌النهارات کروی[2] موسوم‌اند. محل برخورد نصف‌النهارات کروی به‌نام قطبهای کروی[3]، شناخته می‌شوند، یکی از قطبها، قطب جنوب کروی[4]، و دیگری قطب شمال کروی[5] است.

در شکل (۳ـ۸)، یک نقطه مانند P ، بر روی کره انتخاب شده است، O مرکز کرهٔ با شعاع R است. خط OP عمود بر سطح کره است و قائم کروی[6] نامیده می‌شود.




شکل (۳ـ۸) — دستگاه مختصات کروی.

1. Spherical Equator 2. Spherical Meridians 3. Spherical Poles
4. South Spherical Pole 5. North Spherical Pole 6. Spherical Normal

زاویهٔ b ، زاویهٔ بین قائم کروی و صفحهٔ عمود بر محور چرخشی[1] در مرکز کره (استوای کروی[2])، عرض کروی[3] نامیده می‌شود. اندازهٔ عرض کروی از صفر تا ۹۰ درجه با علامت مثبت در نیمکرهٔ شمالی کره و با علامت منفی در نیمکرهٔ جنوبی کره تغییر می کند. نقاط با عرض کروی برابر، بر روی مدار کروی[4] قرار می گیرند.

یکی از نصف‌النهارهای کروی، بعنوان نصف‌النهار کروی صفر[5] (مبدء) مشخص می‌شود. زاویه l ، زاویهٔ بین صفحهٔ نصف‌النهار کروی صفر و صفحهٔ نصف‌النهار کروی نقطهٔ P ، که در صفحهٔ استوای کروی در نظر گرفته می‌شود، طول کروی[6] نقطهٔ P نامیده می‌شود. طول کروی، از نصف‌النهار کروی مبدء بطرف مشرق مثبت و از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند. نقاطی که دارای طول کروی برابرند بر روی یک نصف‌النهار کروی قرار می‌گیرند.

صفحاتی که شامل قائم کروی در یک نقطه‌اند، صفحات قائم کروی[7] نامیده می‌شوند. محل برخورد صفحات قائم کروی با کره را مقاطع قائم کروی[8] نامند. مقاطع قائم کروی همیشه دایرهٔ عظیمه‌اند. در حقیقت مقطع قائم کروی در تعیین جهت قبله، بکار گرفته می‌شود، بدینترتیب که با فرض کروی‌شکل بودن زمین، صفحه‌ای که شامل قائم کروی محل مورد نظر و قائم کروی خانهٔ کعبه باشد، کره را در دایرهٔ عظیمه‌ای قطع می کند که جهت قبله در امتداد آنست. صفحهٔ عمود بر قائم کروی در نقطهٔ P ، که در نتیجه بر سطح کره مماس می‌شود، افق کروی[9] نقطهٔ P نامیده می‌شود.

در شکل (۴ـ۸)، علاوه بر نقطهٔ P ، نقطه دیگری مانند Q بر روی کره نشان داده شده است. زاویهٔ a ، زاویهٔ بین صفحهٔ نصف‌النهار کروی نقطهٔ P و صفحهٔ قائم کروی نقطهٔ P که از نقطهٔ Q می‌گذرد، و بر روی صفحهٔ افقی کروی نقطهٔ P در نظر گرفته شود، سمت کروی[10] نقطه Q نامیده می‌شود. این زاویه، از سمت شمال نصف‌النهار اندازه‌گیری شده و در جهت عقربه های ساعت از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند.

اگر نقطهٔ دیگری بر روی سطح کره، مثلا مانند نقطهٔ S ، جدا از نقاط P و Q در نظر گرفته شود، کمانهای دایره‌های عظیمهٔ $\widehat{PQ}$ ، $\widehat{PS}$ و $\widehat{QS}$ تشکیل یک مثلث کروی می‌دهند. مثلث PQN در شکل (۴ـ۸) نیز یک مثلث کروی است.

1. Rotation Axis 2. Spherical Equator 3. Spherical Latitude
4. Spherical Parallel 5. Zero Spherical Meridian
6. Spherical Longitude 7. Spherical Normal Planes
8. Spherical Normal Sections 9. Spherical Horizon 10. Spherical Azimuth

**شکل (۸-۴) --- سمت بر روی کره.**



**شکل (۸-۵) — دستگاه مختصات ژئودتیک.**

**۵-۲ مختصات ژئودتیک**—شبه کره یا بیضوی دوار در ژئودزی، بیشتر بعنوان سطح مبنا در نظر گرفته می‌شود.

در شکل (۵-۸)، یک شبه کره با مرکز O، نصف قطر اطول (a) و نصف قطر اقطر (b) نشان داده شده است. این شبه کرهٔ پخت، حول محوری که از مرکز O می‌گذرد، دوران می‌کند. فصل مشترک صفحهٔ عمود بر محور دوران در مرکز O ، با سطح بیضوی، استوای ژئودتیک[1] نامیده می‌شود. استوای ژئودتیک به‌شکل یک دایره با شعاع (a) است. سایر دایره‌های موازی با سطح استوای ژئودتیک که بر روی سطح شبه کره واقعند، مدارات ژئودتیک[2] نامیده می‌شوند.

بیضی‌هایی که صفحات مولد آنها شامل محور چرخشی است، نصف‌النهارات ژئودتیک[3] نام دارند. نصف‌النهارات ژئودتیک همدیگر را در قطبهای ژئودتیک[4] قطع می‌کنند که یکی از آنها قطب شمال ژئودتیک[5] و دیگری قطب جنوب ژئودتیک[6] است.

در شکل (۵-۸)، نقطهٔ P یک نقطهٔ اختیاری بر روی بیضوی دوار است. خط PP′ عمود بر سطح شبه کره بوده و قائم ژئودتیک[7] نامیده می‌شود. صفحهٔ عمود بر قائم ژئودتیک در نقطهٔ P ، افق ژئودتیک[8] نقطهٔ P نامیده می‌شود. زاویهٔ $\varphi$—زاویهٔ بین قائم ژئودتیک و استوای ژئودتیک—عرض ژئودتیک[9] نقطهٔ P نامیده می‌شود. اندازهٔ عرض ژئودتیک از صفر تا ۹۰ درجه با علامت مثبت در نصفهٔ شمالی شبه کره و با علامت منفی در نیمهٔ جنوبی آن تغییر می‌کند. نقاط دارای عرض ژئودتیک، مساوی بر یک مدار ژئودتیک[10] قرار می‌گیرند.

یکی از نصف‌النهارات ژئودتیک، بصورت نصف‌النهار مبنا (صفر) در نظر گرفته می‌شود. زاویهٔ $\lambda$، زاویهٔ بین صفحهٔ نصف‌النهار صفر و صفحهٔ نصف‌النهار نقطهٔ P که در صفحهٔ استوای ژئودتیک در نظر گرفته شود، به‌نام طول ژئودتیک[11] نقطهٔ P موسوم است. اندازهٔ طول ژئودتیک از صفر تا ۳۶۰ درجه با علامت مثبت بطرف مشرق نصف‌النهار مبنا، تغییر می‌کند.

در شکل (۶-۸)، سه نوع عرض مخصوص، به‌منظور استفاده در محاسبات، نشان داده شده است. بیضی مشهود در این شکل با نصف قطر اطول a و نصف قطر

1. Geodetic Equator
2. Geodetic Parallels
3. Geodetic Meridian
4. Geodetic Poles
5. North Geodetic pole
6. South Geodetic pole
7. Geodetic Normal
8. Geodetic Horizon
9. Geodetic Latitude
10. Geodetic Parallel
11. Geodetic Longitude

اطول b ، صفحهٔ نصف‌النهار نقطهٔ P است. خط OP برابر ρ (رُوْ)[1] شعاع ژئودتیک[2] نقطهٔ P است. زاویهٔ $\varphi'$، زاویهٔ بین شعاع ژئودتیک و صفحهٔ استوای ژئودتیک، عرض زمین مرکزی[3]، نامیده می‌شود. زاویهٔ Ψ (پسی[4])، زاویهٔ بین خط $OP''$ و استوای ژئودتیک، عرض کاهش یافته[5] نام دارد، که نقطهٔ $P''$ محل برخورد خطی است که از نقطهٔ P ، بموازات محور چرخشی، رسم شده است، و دایرهٔ رسم شده به‌مرکز O و شعاع به‌طول a است.

رابطهٔ بین عرضهای ژئودتیک (φ)، زمین مرکزی ($\varphi'$) و کاهش یافته (Ψ)، به‌صورت زیر است:

$$\tan\varphi' = \frac{b}{a}\tan\Psi = \frac{b^{2}}{a^{2}}\tan\varphi \qquad (۸\text{-}۴)$$

$$\tan\varphi' = (1-f)\tan\Psi = (1-f)^{2}\tan\varphi \qquad (۸\text{-}۵)$$

$$\tan\varphi' = \sqrt{(1-e^{2})}\tan\Psi = (1-e^{2})\tan\varphi \qquad (۸\text{-}۶)$$

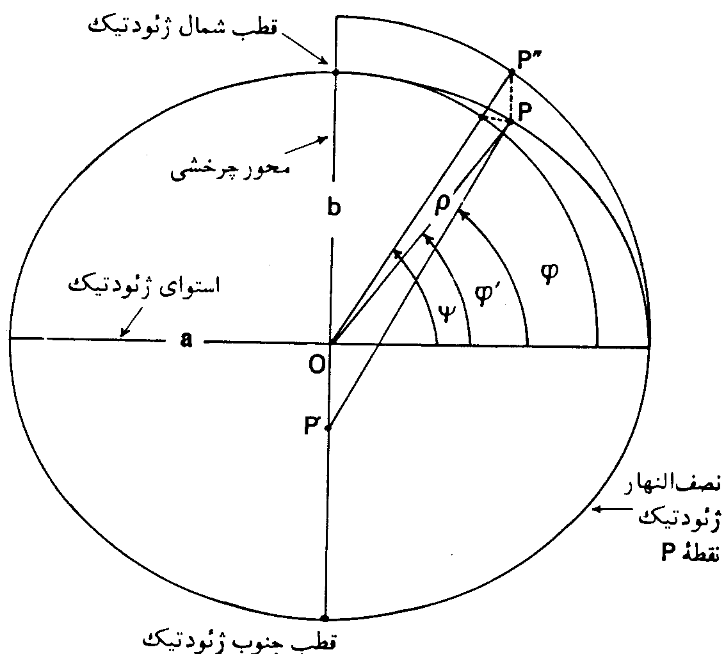
که در آنها، f ضریب فشردگی[6] و e خروج از مرکز[7] است.

طول شعاع ژئودتیک (ρ)، از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$\rho = \frac{a\sqrt{(1-e^{2})}}{\sqrt{1-e^{2}\cos^{2}\varphi}} \qquad (۸\text{-}۷)$$

قائم ژئودتیک قبلا تعریف شد. صفحاتی که قائم ژئودتیک یک نقطه در آنها قرار دارد، به‌نام صفحات قائم ژئودتیک[8] موسوم‌اند. منحنیهای حاصل از فصل مشترک صفحات قائم ژئودتیک با سطح شبه کره، به‌نام مقاطع قائم ژئودتیک[9] معروف است. شعاعهای مقاطع قائم ژئودتیک، برخلاف دستگاه کروی، با توجه به‌جهت مقاطع قائم ژئودتیک، متغیر است. دو شعاع اصلی، در رابطه با دو مقطع قائم ژئودتیک در نظر گرفته می‌شوند؛ یکی مقطع قائم ژئودتیک که بر نصف‌النهار ژئودتیک منطبق است و دیگری مقطع قائم ژئودتیکِ عمود بر نصف‌النهار ژئودتیک است. شعاعِ مقطعِ قائمِ

1. Rho 2. Geodetic Radius 3. Geocentric Latitude 4. Psi
5. Reduced Latitude 6. Flattening 7. Eccentricity
8. Geodetic Normal Planes 9. Geodetic Normal Sections




**شکل (۶ـ۸) ــ عرض زمین مرکزی و عرض کاهش یافته.**

ژئودتیکِ منطبق بر نصف‌النهار ژئودتیک، شعاع انحنای نصف‌النهاری[1] نام دارد و با حرف (M) نشان داده می‌شود. شعاع مقطع قائم ژئودتیک عمود بر نصف‌النهار ژئودتیک، شعاع انحنای عرضی[2] نامیده می‌شود و با حرف (N) مشخص می‌گردد. شعاعهای انحنای نصف‌النهاری و عرضی از فرمولهای زیر محاسبه می‌شوند:

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2\sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} \qquad (۸ـ۸)$$

$$N = \frac{a}{(1-e^2\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}} \qquad (۸ـ۹)$$

1. Meridional Radius of Curvature　　2. Transverse Radius of Curvature

جهت یک مقطع قائم ژئودتیک، توسط سمت آن مشخص می‌شود. سمت مقطع قائم ژئودتیک[1] نقطه‌ای مانند P از نقطه‌ای دیگر مانند نقطه Q، عبارت از زاویهٔ بین صفحهٔ نصف‌النهار نقطهٔ P و صفحهٔ قائم ژئودتیک[2] نقطهٔ P که از نقطه Q می‌گذرد، می‌باشد، این زاویه از صفر تا ۳۶۰ درجه، در جهت حرکت عقربه‌های ساعت، اندازه‌گیری می‌شود.

چنانکه به‌مطلب شعاع انحنا[3] برگردیم، شعاع انحنای یک مقطعِ قائمِ ژئودتیکِ اختیاری ($R_\alpha$)، از فرمول زیر تعیین می‌گردد:

$$\frac{1}{R\alpha}=\frac{\cos^2\alpha}{M}+\frac{\sin^2\alpha}{N} \qquad (8\text{-}10)$$

که در آن ($\alpha$)، سمت مقطع قائم ژئودتیک نقطهٔ مورد نظر است.

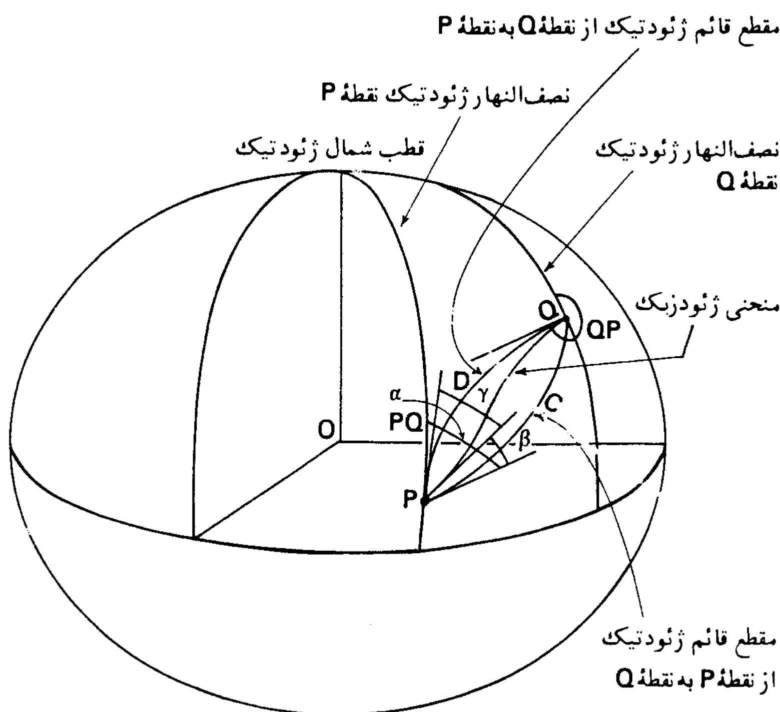
متوسط اندازهٔ شعاعهایِ انحنایِ تمامِ مقاطعِ ژئودتیکِ ( r ) یک نقطه، از سمت صفر درجه ($\alpha=0$) تا سمت ۳۶۰ درجه ($\alpha=360$)، بر روی شبه کره، از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$r=\sqrt{M\times N} \qquad (8\text{-}11)$$

سمت مقطع قائم ژئودتیک نیازمند پاره‌ای توضیحات است. بر روی یک کره، صفحهٔ قائم کروی[4] نقطهٔ P از نقطهٔ Q یا صفحهٔ قائم کروی نقطهٔ Q از نقطه P، یک صفحه است و تشکیل دو صفحهٔ مجزا را نمی‌دهند. اما بر روی یک شبه کره، وضعیت متفاوت است. مقطع قائم ژئودتیک نقطهٔ P که از نقطهٔ Q می‌گذرد و مقطع قائم ژئودتیک نقطهٔ Q که از نقطهٔ P می‌گذرد، تشکیل دو منحنی جداگانه را می‌دهند و بر هم منطبق نیستند، شکل (۷ـ۸). بنابراین در هر یک از دو نقطهٔ P و Q، دو مقطع قائم ژئودتیک موجود است که ممکن است در سنجیدن سمت مقطع قائم ژئودتیک تولید اشتباه شود، بدینترتیب که این ابهام پیش آید که سمت را نسبت به کدام‌یک از مقاطع باید در نظر گرفت.

برای جلوگیری از اشتباه، اصطلاح سمت ژئودتیک[5] تعریف می‌شود. اما قبل از تعریف سمت ژئودتیک خط منحنی ژئودزیک[6] تعریف می‌شود.

1. Azimuth of the Normal Section　2. Geodetic Normal plane
3. Radius of curvature　4. Spherical Normal plane
5. Geodesic Azimuth　6. Geodesic Line curve




**شکل (۷ـ۸) — سمت بر روی شبه کره.**

در شکل (۷ـ۸)، منحنی $\widehat{PDQ}$، مقطع قائم ژئودتیک از نقطه Q به نقطهٔ P و منحنی $\widehat{PCQ}$، مقطع قائم ژئودتیک از نقطهٔ P به نقطهٔ Q است. این دو منحنی هر کدام منحنی مسطح اند[1]، بدین معنی که هر کدام در یک صفحهٔ مسطح قرار دارند. به همین جهت منحنی $\widehat{PDQ}$ به‌نام منحنی مسطح از نقطهٔ Q به‌نقطهٔ P، و منحنی PCQ به‌نام منحنی مسطح از نقطهٔ P به‌نقطهٔ Q نیز نامیده می‌شوند. چنانکه در شکل (۷ـ۸) نمایانده شده، اگر نقطهٔ Q در شمال شرقی نقطهٔ P باشد، منحنی $\widehat{PDQ}$ در شمال منحنی $\widehat{PCQ}$ قرار خواهد گرفت. تفاوت طولی زیادی بین دو منحنی $\widehat{PCQ}$ و $\widehat{PDQ}$ وجود ندارد. همچنین زاویهٔ بین دو منحنی، در نقطهٔ P، زاویهٔ بسیار کوچکی است و با افزایش

1. Plane curve

طول منحنی زیاد می‌شود.

بر روی یک کره، کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه، در امتداد دایرهٔ عظیمه‌ای است که از دو نقطه می‌گذرد. اما بر روی یک شبه کره، شرایط، کاملا متفاوت است. در این حالت، کوتاهترین فاصله در امتداد یک منحنی است که به‌نام خط ژئودزیک[1] موسوم است. خط ژئودزیک در بین دو منحنی مسطح قرار دارد و دارای انحنای برگشته[2] است، انحنای برگشته، بدان معنی است که منحنی، از دو کمان با شعاعهای برابر یا نامساوی تشکیل می‌یابد و مرکز هر کمان در یکطرف منحنی قرار دارد. در شکل (۸ـ۷)، زوایای بین خط ژئودزیک و هر یک از مقاطع قائم ژئودتیک در نقطهٔ p، با زاویه های $\beta$ و $\gamma$ نشان داده شده است. نسبت این دو زاویه به‌نسبت یک به دو است، یعنی $\frac{\beta}{\gamma}=\frac{۱}{۲}$. زاویهٔ $\beta$ زاویهٔ خیلی کوچکی است و بیشترین مقدار آن ($\beta_{Max} = ۰/۰۱۴''$) ۰/۰۱۴″ برای مقطع قائم ژئودتیک با طول برابر ۱۰۰ کیلومتر است و اندازهٔ این زاویه با افزایش طول، اضافه می‌شود.

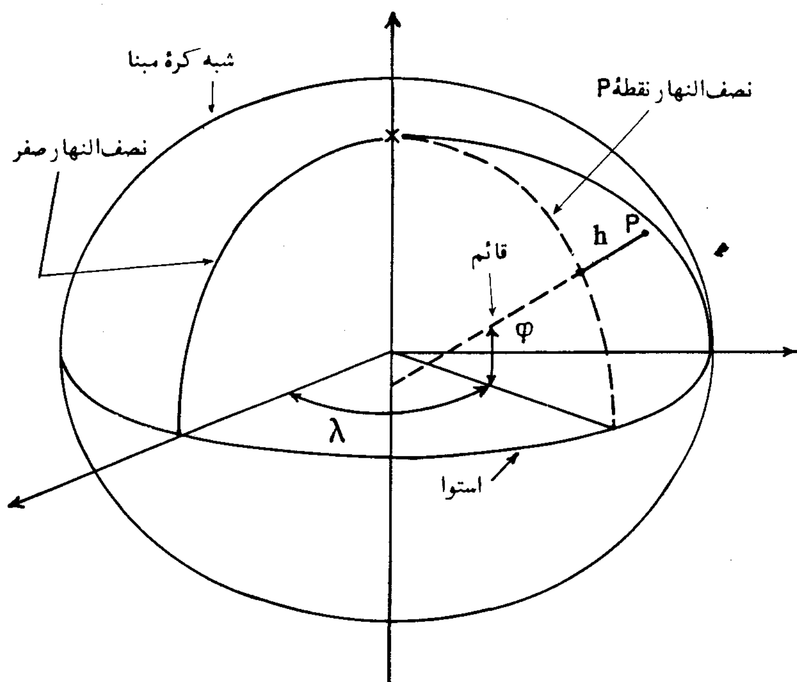
حال سمت ژئودتیک تعریف می‌شود: سمت ژئودتیک زاویهٔ بین نصف‌النهار ژئودتیک و مماس بر خط منحنی ژئودزیک است.

مختصات ژئودتیک ممکن است نسبت به‌یک شبه کره با وضعیت و جهت اختیاری سنجیده شود و یا نسبت به‌یک شبه کره که مرکز آن درگرانیگاه زمین[3] قرار دارد و دارای جهت اختیاری است و قطر اقصر آن بر محور چرخشی میانگین[4] زمین منطبق می‌باشد، سنجیده شود. در حالت نخست، وضعیت، وضعیت نسبی[5] نامیده می‌شود و در حالت دوم، وضعیت مطلق[6] و یا زمین مرکزی[7]. مختصات ژئودتیک در دستگاه مطلق و یا زمین مرکزی، مختصات ژئودتیک مطلق[8] و یا مختصات ژئودتیک زمین مرکزی[9] نامیده می‌شود. مختصات ژئودتیک زمین مرکزی را نباید با مختصات زمین مرکزی[10] که طی رابطه های (۸ـ۴)، (۸ـ۵) و (۸ـ۶)، بیان شد، اشتباه گرفت.

مختصات ژئودتیک معمولی عبارت است از، عرض ژئودتیک ($\varphi$)، طول ژئودتیک ($\lambda$) و ارتفاع ناظر نسبت به‌سطح شبه کرهٔ مبنا، که در امتداد قائم ژئودتیک اندازه‌گیری می‌شود. این ارتفاع به‌نام ارتفاع ژئودتیک[11] نامیده شده و با حرف (h)

1. Geodesic Line 2. Reversed Curvature 3. The Center of Gravity of the Earth
4. Average Rotation Axis 5. Relative 6. Absolute 7. Geocentric
8. Absolute Geodetic Coordinates 9. Geocentric Geodetic Coordinates
10. Geocentric Coordinates 11. Geodetic Height

نمایش داده می‌شود که علامت آن ممکن است منفی هم باشد. پارامترهای $\varphi$، $\lambda$ و h ، وضعیت ناظر را نسبت به‌شبه کرهٔ مبنا تعیین می کند، شکل (۸ـ۸).




**شکل (۸ـ۸)—مختصات ژئودتیک. یک‌شبه کرهٔ مبنا برای نمایاندن وضعیت نقطهٔ P بر روی زمین بکار برده شده است. خط قائم ژئودتیک عبارت از عمودی که از نقطه P بر سطح شبه کرهٔ مبنا رسم شده که h فاصلهٔ نقطهٔ P از سطح مبناست. زاویهٔ بین خط عمود بر سطح شبه کرهٔ مبنا و سطح استوا، عرض ($\varphi$) است. زاویهٔ بین نصف‌النهار نقطهٔ P و نصف‌النهار صفر، طول ($\lambda$) می‌باشد.**

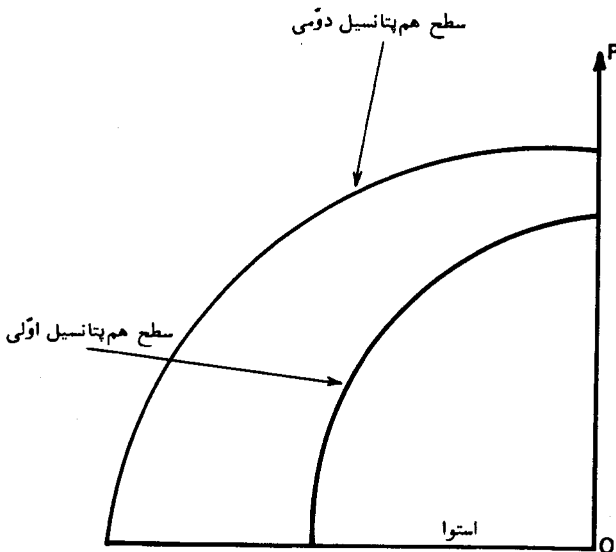
در محاسبات ژئودتیک که دقت محاسبهٔ کمتری مورد نیاز است، ممکن است شبه کره را با یک کره، بعنوان شکل زمین با دقت کمتر، جایگزین کرد. شعاع چنین کره‌ای که دارای حجم (جرم) مساوی شبه کره باشد، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = a\sqrt[3]{1 - f} \qquad (۸-۱۲)$$

**۵ـ۳. مختصات نجومی**[1]—سطح مبنای مرسوم در مختصات نجومی، شکل زمین‌گون[2] (ژئوئید) است. قبل از تشریح شکل زمین‌گون، سطح هم‌پتانسیل[3] تعریف می‌شود.

**سطح هم‌پتانسیل:** پتانسیل ثقل[4] زمین در نقاط مختلف واقع بر روی سطح آن، در عرضهای جغرافیایی مختلف، متفاوت است. یک سطح هم‌پتانسیل و یا یک سطح دارای پتانسیل برابر، عبارت از سطحی است که پتانسیل ثقل زمین در تمام نقاط واقع بر آن برابر باشند. یک تغییر در پتانسیل، برابر با کار صورت گرفته از انتقال یک واحد جرم از یک سطح هم‌پتانسیل به‌یک سطح دیگر است. سطح هم‌پتانسیل در همه‌جا عمود بر امتداد شاقولی[5] و جهت ثقل[6] زمین است. سطح هم‌پتانسیل را سطح ژئوپتانسیل[7] و یا ژئوپ[8] نیز می‌نامند.

پتانسیل قابل مقایسه با ارتفاع است. بنابراین سطح ژئو پتانسیل، سطحی است که تمام نقاط واقع بر روی آن دارای نیروی ثقل[9] برابر است. نیروی ثقل در قطبها، بیشتر از استواست. لذا چنانکه دو سطح، هم‌پتانسیل در نظر گرفته شوند، فاصلهٔ آنها در قطبها، بهم نزدیکتر از فاصلهٔ آنها در استواست، شکل (۹ـ۸).




شکل (۹ـ۸)—سطح هم‌پتانسیل.

1. Astronomic Coordinates 2. Geoid 3. Equipotential Surface
4. Gravity Potential 5. Plumb Line 6. Direction of Gravity
7. Geopotential Surface 8. Geop 9. Force of Gravity

نیروی ثقل زمین، بعلت تغییر جرم زمین، از نقطه‌ای به‌نقطه‌ای دیگر تغییر می‌کند، چه، درجاهای کوهستانی جرم بیشتری نسبت به‌جرم موجود در دریاها نهفته است. بنابراین شکل سطح پتانسیل، بستگی به‌تقسیم نامنظم جرم در داخل زمین دارد و در نتیجه، نمی‌شود آن را با یک فرمول ریاضی بسته[1] مانند سطح یک شبه‌کره، نمایاند. لذا در معنای مرسوم آن، سطح هم‌پتانسیل یک سطح ریاضی نمی‌باشد و بلکه یک سطح فیزیکی است.

**شکل زمین‌گون** (**ژئوئید**): شکل زمین‌گون، سطحی است که تقریباً منطبق بر سطح متوسطِ آبِ آرامِ اقیانوسهاست. بنابراین چنانکه سطح آب اقیانوسها را توسط کانالهایی بر روی زمین، به‌همدیگر متصل کنیم، سطح آب آنها بر سطح ژئوئید قرار خواهد گرفت.

نیروی ثقل، مجموعهٔ پتانسیل گرانشی[2] (جذب) و پتانسیل نیروی گریز از مرکز[3] است. بنابراین چنانکه دقیقتر بگوئیم، سطح هم‌پتانسیل، سطحی است که در آن نیروی ثقل و چرخش زمین، در توازن‌اند. و شکل زمین‌گون، آن سطح هم‌پتانسیل از میدان ثقل[4] زمین است که بهتر از همهٔ سطوح دیگر بر سطح متوسط آب اقیانوسها منطبق می‌شود.

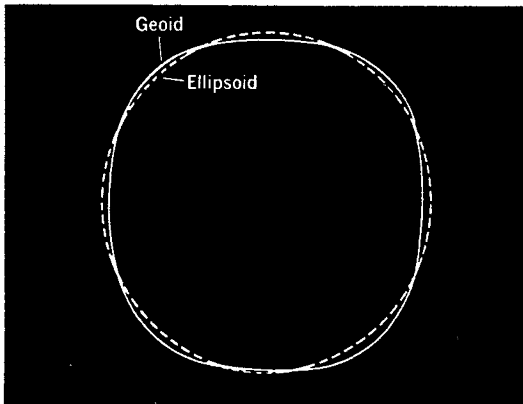
از آنجایی که سطح متوسط آب اقیانوسها بیشتر از یک متر با چنین سطحی اختلاف ندارد، لذا شکل زمین‌گون را می‌توان با سطح آب آرام اقیانوسها متصور ساخت، اگر می‌شد آب آنها را از زیر قاره‌ها به هم متصل کرد.

چنین سطحی دارای این خاصیت است که در همه جای آن امتداد عمودی (امتداد جاذبه[5]) بر سطح آن عمود است.

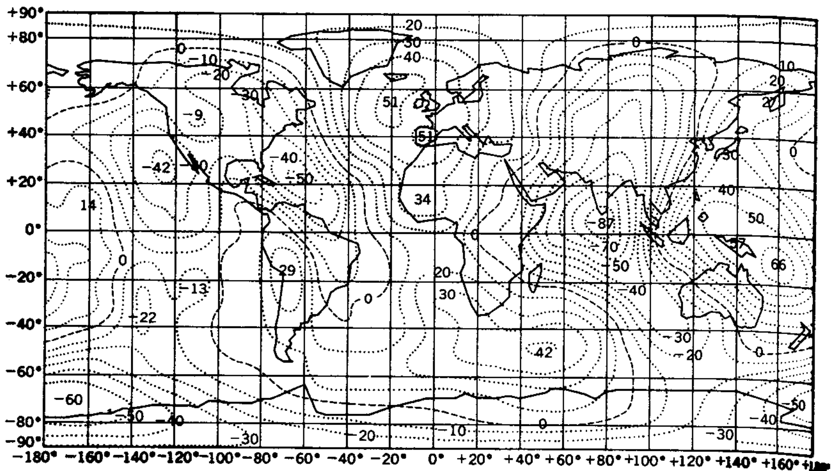
شکل زمین‌گون در علم ژئودزی دارای اهمیت اساسی است. از نظر ریاضی، دارای شکل ویژه‌ای است، چه سطح آن، مطابق تغییرات جرم در زمین، تغییر می‌کند، و سطح آن بیشتر از ۱۰۰ متر بطرف بالا و یا پایین نسبت به‌سطح بهترین شبه‌کرهٔ منطبق شده، تغییر نمی‌کند، شکل (۱۰-۸).

در شکل (۱۱-۸)، منحنیهای تراز ارتفاعات ژئوئید نسبت به‌سطح بهترین شبه‌کرهٔ منطبق شده، نمایانده شده است، این نقشه، براساس اطلاعات بدست آمده از

1. Closed Mathematical Formula
2. Cravitational Attraction Potential
3. Potential of Centrifugal Force
4. Gravity Field
5. The Direction of Gravitational Pull




**شکل (۱۰-۸)- مقایسهٔ شکل زمین‌گون (ژئوئید) با بیضوی**




**شکل (۱۱-۸)- منحنیهای تراز اختلاف ارتفاع سطح ژئوئید نسبت به‌سطح شبه‌کرهٔ منطبق شدهٔ بر سطح زمین.**

قمرهای مصنوعی تهیه شده است.

در شرایط خاص، می‌توان شکل زمین‌گون را بصورت عددی[1]، نقطه به‌نقطه تعیین و نقشهٔ آن را تهیه کرد و چنانکه جزئیات، مورد نیاز نباشد و به‌یک فرم کلی کفایت شود، می‌توان آن را بصورت تحلیلی[2] مشخص ساخت. معادله‌ای که چنین فرم کلی شکل زمین‌گون را مشخص می‌کند، دارای ۲۰۰ جمله[3] است.

در ژئودزی شکل زمین‌گون را بعنوان شکل تقریبی زمین با تقریب اول[4] و یا شکل تئوری زمین بکار می‌برند.

تعیین ارتفاع h که در دستگاه مختصات ژئودتیک بیان شد بسادگی قابل تعیین نیست و بجای آن ارتفاع نقطه، از سطح ژئوئید با عمل ترازکردن تعیین می‌گردد.

**سطح مبنای نجومی[5]:** بطور کلی سطح مبنای مختصات نجومی[6] یک نقطه، سطح هم‌پتانسیل آن نقطه است. مهمترین خواص یک سطح هم‌پتانسیل که از همدیگر نتیجه‌گیری شده‌اند، عبارت است از اینکه پتانسیل ثقل[7] بر روی آن ثابت بوده و امتداد خط نیرو[8] (امتداد خط شاقولی) در همه جا بر سطح آن عمود می‌باشد. مماس بر خط شاقولی[9]، بر جهت ثقل[10] منطبق است. سطح هم‌پتانسیل، یک سطح صاف و پیوسته است. اما انحنای آن دارای عدم پیوستگی است و این عدم پیوستگی وقتی ایجاد می‌شود که وزن مخصوص جرم قطع شده، توسط سطح تغییر کند. امتداد خط شاقول دارای همان خواص است. بنابراین خط شاقولی، یک منحنی صاف سه بعدی است که دارای هیچگونه بریدگی نیست اما انحنای آن دارای پیوستگی نمی‌باشد، و عدم پیوستگی انحنا، زمانی صورت می‌گیرد که وزن مخصوص جرمی که توسط خط شاقولی قطع می‌شود، تغییر کند.

شکل (۱۲-۸)، مقطعی از یک سطح هم‌پتانسیل است که مماس بر خط شاقولی، در نقطهٔ اختیاری P ، در آن قرار گرفته است و خود خط‌شاقولی، در آن قرار ندارد. خط افقی واقع در مرکز آن، محل تقاطع مقطع سطح هم پتانسیل با سطح استوای آنی[11] است، که سطح استوای آنی، سطح عمود بر محور چرخشی آنی[12] است. خط مماس بر خط شاقولی در نقطهٔ P ، قائم نجومی[13] نامیده می‌شود. زاویهٔ $\Phi$، زاویهٔ بین

1. Numerically 2. Analytically 3. Term 4. First Approximation
5. Astronomic Reference Surface 6. Astronomic Coordinates
7. Potential of Gravity 8. Line of Force 9. Tangent to the Plumb Line
10. Direction of Gravity 11. Instantaneous Equator 12. Instantaneous Axis of Rotation 13. Astronomic Normal

شکل (۱۲-۸)—سطح ژئوپتانسیل.

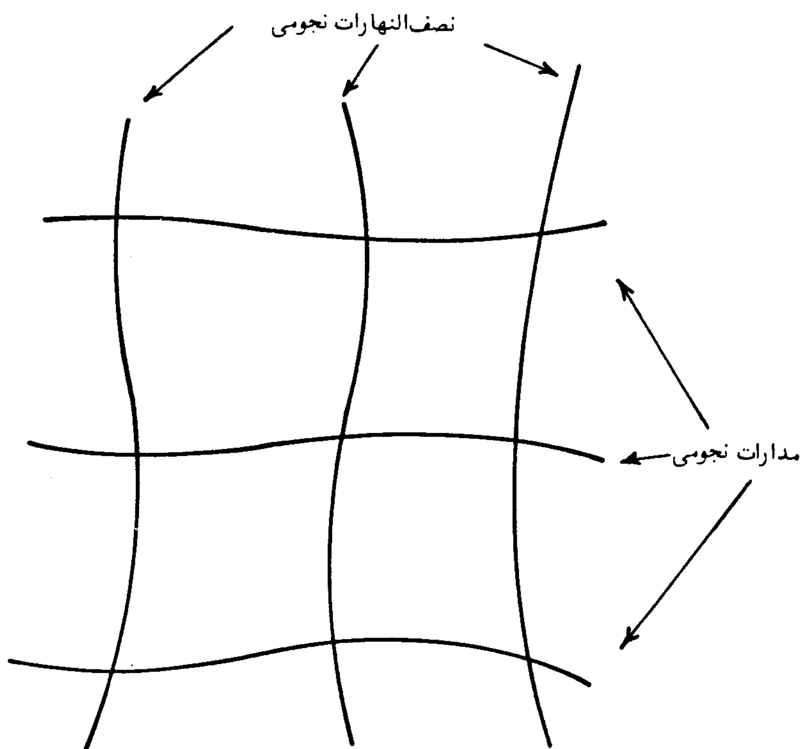
قائم نجومی و صفحهٔ استوای آنی، عرض نجومی[1] نقطهٔ P است. اندازهٔ آن می‌تواند از صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند که در نیمهٔ شمالی سطح هم پتانسیل، علامت آن مثبت و در نیمهٔ جنوبی، علامت آن منفی است.

صفحه‌ای که بموازات محور چرخشی آنی زمین، از قائم نجومی می‌گذرد، صفحهٔ نصف‌النهار نجومی[2] نامیده می‌شود. در اینجا صفحهٔ نصف‌النهار، نمی‌تواند بصورتی که قبلا تعریف شد (صفحه‌ای که هم از قائم و هم از محور چرخشی می‌گذرد) تعریف شود، زیرا قائم نجومی لزوماً محور چرخشی را قطع نمی‌کند. زاویهٔ $\Lambda$ (لاندای بزرگ[3])، زاویهٔ بین صفحهٔ یک نصف‌النهار نجومی مشخص شدهٔ صفر درجه (مبنا) و صفحهٔ نصف‌النهار نجومی در نقطهٔ P ، طول نجومی[4] نقطهٔ P نامیده می‌شود. اندازهٔ آن از صفر

1.) Astronomic Latitude 2. Astronomic meridian plane
3.) Capital Lambda 4. Astronomic Longitude

تا ۳۶۰ درجه بطرف مغرب، تعیین می‌گردد. نقاط دارای عرض نجومی برابر، بر روی یک مدار نجومی[1] قرار می‌گیرند. همچنین نقاط واقع بر روی یک نصف‌النهار نجومی[2]، دارای طول نجومی برابرند. منحنیهای مدارات و نصف‌النهارات نجومی نه دایره‌ای (حالت کره) و نه بیضی (حالت شبه کره) شکل‌اند بلکه منحنیهای فضائی[3] اند، شکل (۱۳-۸).

قطبهای نجومی[4]، محل برخورد محور چرخشی آنی زمین با سطح هم‌پتانسیل است که یکی از آنها قطب شمال نجومی[5] و دیگری قطب جنوب نجومی[6] است. با توجه به‌تعریف عرض نجومی، لزوماً عرض نجومی در قطبهای نجومی برابر ۹۰°± نیست




شکل (۱۳-۸) —مدارات و نصف‌النهارات نجومی.

1. Astronomic parallel 2. Astronomic Meridian 3. Space Curve
4. Astronomic Poles 5. North Astronomic pole 6. South Astronomic Pole

و عرض نجومی در نقطه‌ای غیر از قطبهای نجومی، می‌تواند °۹۰± باشد. این مطلب بستگی به‌شکل سطح هم‌پتانسیل و یا چگونگی پخش جرم دارد.

صفحهٔ عمود بر قائم نجومی نقطهٔ P ، در نقطهٔ P ، افق نجومی[1] آنست. صفحاتی که از قائم نجومی نقطهٔ P می‌گذرند، صفحات قائم نجومی[2] نقطهٔ P نامیده می‌شوند.

چنانکه نقطه‌ای مانند Q، جدا از نقطهٔ P را در نظر بگیریم، زاویهٔ بین صفحهٔ نصف‌النهار نجومی نقطهٔ P با صفحهٔ قائم نجومی نقطهٔ P که از نقطهٔ Q بگذرد و در صفحهٔ افق نجومی نقطهٔ P در نظر گرفته شود، سمت نجومی[3] نقطهٔ Q نامیده می‌شود. سمت نجومی از قسمت شمالی نصف‌النهار نجومی در جهت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری شده و از صفر تا ۳۶۰ درجه متغیر است.

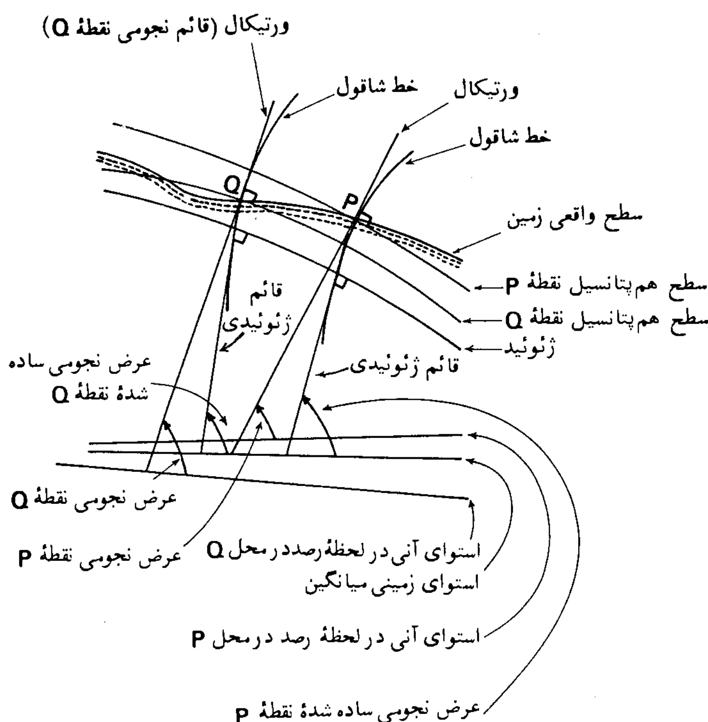
در عمل، سطح هم‌پتانسیلی که دستگاه نجومی مذکور در فوق، غالباً نسبت به‌آن سنجیده می‌شود، آن سطحی است که از نقطهٔ رصد بر روی زمین گذر می‌کند. در چنین حالتی پارامترهای مختلف نجومی، از قبیل عرض، طول، سمت، قطبها و غیره دارای پسوند مشاهده شده[4] یا آنی[5]، هستند. مثلا می‌گوییم عرض نجومی مشاهده شده[6] یا عرض نجومی آنی[7]. لذا پارامترهای نجومی مشاهده شده و یا آنی همگی نسبت به سطح هم‌پتانسیلی که از نقطهٔ رصد عبور می‌کند، سنجیده می‌شوند. اما به‌منظور سادگی ممکن است پارامترهای مختلف را فقط بعنوان مقادیر نجومی[8] نامید. اما در زبان انگلیسی قائم نجومی و صفحهٔ قائم نجومی وقتی که نسبت به‌سطح هم‌پتانسیل ناظر در نظر گرفته شوند بصورت دیگری هم بیان می‌شوند؛ قائم نجومی به‌نام ورتیکال[9] و صفحهٔ قائم نجومی به‌نام صفحهٔ ورتیکال[10] معروفند. بنابراین وقتی که گفته می‌شود عرض نجومی، منظور زاویهٔ بین ورتیکال ناظر و صفحهٔ استوای آنی است.

چنانکه آشکار است، تعریف مقادیر نجومی، بصورتی که گذشت خالی از اشکال نیست. از آنجایی که نقاط مختلف رصد لزوماً بر روی یک سطح هم‌پتانسیل قرار ندارند، لذا رصدهای انجام شده، درجاهای مختلف، نسبت به‌سطحهای مختلف‌ِمبنا در نظر گرفته می‌شوند و درنتیجه، مدارات و نصف‌النهارات نجومی معنی خود را از دست می‌دهند. همچنین وضعیت محور چرخشی زمین نسبت به‌جسمِ سختِ[11] زمین متغیر است (حرکت

1. Astronomic Horizon 2. Astronomic Normal Planes
3. Astronomic Azimuth 4. Observed 5. Instantaneous
6. Observed Astronomic Latitude 7. Instantaneous Astronomic Latitude
8. Astronomic Quantities 9. Vertical 10. Vertical Plane 11. Solid Body

قطبی[1])، و از آنجایی که رصدها محتملا همزمان انجام نمی‌شوند، لذا آنها نسبت به محورهای چرخشی آنی[2] مختلف و استواهـای آنی[3] متعدد در نظر گرفته می‌شوند، شکل (۱۴-۸).

برای رفع این اشکال، مقادیر نجومی را ممکن است نسبت به‌سطح ژئوئید، که یک‌سطح مشترك برای همه رصدکنندگان است، و نسبت به‌یک‌محور چرخشی (مبنای) میانگین[4] و بالاخره نسبت به‌استوای مربوط به‌این محور چرخشی، بر روی زمین، در نظر گرفت. در اینحالت مقادیر نجومی، به‌نام مقادیر عادی[5]، مقادیر ساده شده[6] و یا مقادیر میانگین[7] نامیده می‌شوند. بنابراین عرض نجومی ساده شده[8]، زاویهٔ بین قائم ژئوئیدی[9] و استوای زمینی (مبنای) میانگین[10] است. فرق مقادیر نجومی ساده شده[11] با مقادیر نجومی




**شکل (۱۴-۸) — عرضهای نجومی.**

1. Polar Motion 2. Instantaneous Rotation Axes 3. Instantaneous Equators
4. Average (Reference) Rotation Axis 5. Ordinary 6. Reduce
7. Average 8. Reduced Astronomic Latitude 9. Geoidal Normal
10. Average Terrestial (Reference) Equator 11. Reduced Astronomic Quantities

مربوط، در تصحیح لازم برای حرکت قطبی و انحنای خط شاقولی[1] است.

مختصات نجومی مرسوم عبارت است از عرض نجومی ساده شده[2] ($\Phi$)، طول نجومی ساده شده[3] ($\Lambda$) و ارتفاع[4] ناظر از سطح ژئوئید درامتداد خط شاقول ($H$) که این ارتفاع، ارتفاع ارتومتریک[5] نامیده می‌شود. مقادیر $\Phi$ ، $\Lambda$ و $H$ ، وضعیت ناظر را نسبت به‌سطح زمین‌گون (ژئوئید) و محور چرخشی میانگین زمین[6] ، تعیین می کنند.

در این بخش روابط بین دستگاه‌های مبنای ژئودتیک مختلف داده نشده است. درحقیقت مطالب این بخش، فقط به‌منظور فهم بخش نهم است، که در آن یک برنامهٔ تحقیقات بین‌المللی، درمورد تعیین دقیق قبله با نگرشی نو، مطرح می‌شود.

1. Curvature of Plumb Line 2. Reduced Astronomic Latitude
3. Reduced Astronomic Longitude 4. Height 5. Orthometric Height
6. The Average Rotation Axis of the Earth

فصل نهم

# یک برنامهٔ تحقیقاتی بین‌المللی درمورد تعیین همزمان قبله در دنیا

در فصل هشتم، چگونگی شکل زمین را مطالعه کردیم. همچنین چگونگی تعیین جهت‌قبله را درتاریخهای تقریبی هشتم‌خرداد (بیست‌ونهم ماه مه) وبیست‌وپنجم تیرماه (شانزدهم ژوئیه)، از راه تعیین جهت سایهٔ یک‌شی قائم، در بخش (۵-۵) فصل پنجم، دیدیم. امکان دارد که این روش را بتوان درسطح بین‌المللی بکار گرفت و چنانکه توضیح داده شده است، می‌بایست لحظهٔ قرارگرفتن خورشید در سمت‌الرأس مکه، برحسب زمان استاندارد، درمحل مربوط، محاسبه گردد.

امروزه سیگنالهای[1] دقیق وقت، توسط ایستگاههای قوی رادیویی، درکشورهای مختلف، مطابق اوقات استاندارد آنها، پخش می‌شود. بنابراین امکان پخش همزمان لحظهٔ قرارگیری خورشید درسمت‌الرأس مکهٔ‌معظمه، ازطریق ایستگاههای رادیویی در کشورهای مختلف، وجود دارد. لذا با پخش همزمان لحظهٔ قرارگیری خورشید درسمت‌الرأس مکهٔ معظمه، هرکس قادرخواهد بود امتداد جهت قبله را از راه تعیین سایهٔ نخ یک‌شاقول، بدست آورد.

اما قبل از بکارگیری این روش درسطح بین‌المللی، می‌بایست نکاتی چند را مورد تحقیق قرار داد.

در این فصل، پارامترهای متعددی که در این روش، مؤثرند مورد بررسی قرار می‌گیرد. درحین اجرای برنامهٔ تحقیقات مورد لزوم، ممکن است اثر پارامترهای‌دیگری آشکار شود.

1. Signals

## ۱. اثر مختصات جغرافیایی مکه

در فصل پنجم، اثر مختصات دقیق کعبهٔ معظمه در تعیین جهت قبله، تشریح گردید. همچنین چنانکه قبلا هم گفته شده، میل خورشید کمیتی است که دائماً درحال تغییر بوده و مقادیر دقیق آن بر حسب درجه، دقیقه، ثانیه و حتی دهم ثانیه، درجداول نجومی داده می‌شود. چون میل خورشید با دقت زیادی تعیین می‌شود و در این روش عرض جغرافیایی کعبه با میل خورشید مقایسه می‌گردد، لذا تعیین دقیق عرض جغرافیایی کعبه، امری ضروری است.

همچنین در محاسبهٔ دقیق لحظهٔ عبور خورشید از سمت‌الرأس مکه، برحسب وقت استانداردِ محل دیگر، طول جغرافیایی کعبه مورد نیاز است. بنابراین درکاربرد این روش، در تعیین جهت قبله، باید مختصات جغرافیایی دقیق کعبه در دسترس باشد.

## ۲. امکان عبور خورشید از سمت‌الرأس مکه در لحظهٔ ظهر خورشیدی

چنانکه گفته شد، اساس این روش، بر تساوی میل خورشید با عرض جغرافیایی کعبه، در لحظهٔ دقیق ظهر ظاهری محلی، استوار است. امکان این برابری در لحظهٔ خاص، همیشه وجود ندارد. برای فهمیدن چگونگی و میزان برابری میل خورشید و عرض جغرافیایی کعبه، لازم است مقادیر میل خورشید در سالهای گذشته، از جداول نجومی استخراج و با عرض جغرافیایی دقیق کعبه مقایسه گردد.

این مسئله روشن است که دوبار در سال میل خورشید در زمانهای خاص، دقیقاً با عرض جغرافیایی کعبه، برابر می‌شود. تاریخهای تقریبی برابری، با توجه به‌اطلاعات ارائه شده در این کتاب چنانکه ملاحظه شد، در هشتم خرداد (بیست‌ونهم مه) و بیست‌وپنجم تیر (شانزدهم ژوئیه) است. همچنین لازم می‌آید که میل خورشید دراین دو روز، در لحظهٔ ظهر خورشیدی درکعبه، تقریباً نزدیک اندازهٔ عرض جغرافیایی کعبه باشد، اما چنانکه کاربرد روش، درسطح بین‌المللی، مطرح باشد، می‌بایست چگونگی و میزان برابری میل خورشید و عرض جغرافیایی کعبه تعیین گردد.

## ۳. مناطقی از زمین که می‌توان روش را بکار گرفت

کاربرد این روش، در هشتم خرداد (بیست‌ونهم ماه مه) و ۲۵ تیر (شانزدهم ژوئیه)، در تمام نقاط کرهٔ زمین ممکن نیست، چه، در لحظهٔ ظهر ظاهری در کعبه، فقط تقریباً نصف کرهٔ زمین در روشنایی روز قرار می‌گیرد و خورشید قابل رؤیت است و در نیمهٔ دیگر، شب است و بنابراین این روش نمی‌تواند کاربرد داشته باشد.

چنانکه از شکست نور توسط اتمسفر زمین صرفنظر کنیم، زمانی که خورشید در سمت‌الرأس کعبه قرار می‌گیرد($\varphi_K \simeq \delta \simeq$ ۲۱°/۵)، در مناطقی از کرهٔ زمین که در جنوب مدار ۶۸°/۵ جنوبی (۶۸°/۵ = ۲۱°/۵ − ۹۰° = φ)واقع اند، خورشید در آسمان دیده نمی‌شود (شب های طولانی مناطق قطبی).

لذا وقتی که روش، در تاریخهای ذکر شده بکار گرفته شود، فقط در نواحی شمالی مدار ۶۸°/۵ جنوبی کاربرد خواهد داشت، شکل (۱-۹). البته در مناطق قطبی شمالی، روز طولانی قطب در جریان است و روش، کاربرد دارد.

**شکل (۱-۹)— اشعهٔ موازی خورشید نسبت به کرهٔ زمین، وقتی که خورشید در سمت‌الرأس کعبه قرار می‌گیرد.**

همچنین چنانکه طول جغرافیایی کعبه تقریباً برابر ۳۹/۹° شرقی ($\lambda_K$ = ۳۹°/۹E) باشد، تقریباً مناطقی که باندازهٔ ۹۰ درجه در مشرق و مغرب نصف‌النهار کعبه قرار دارند، در موقع کاربرد روش، خورشید را در آسمان خواهند داشت. پس تقریباً مناطق بین نصف‌النهار ۵۰/۱° غربی ($\lambda$ = ۹۰° − ۳۹/۹ = ۵۰/۱°) و ۱۲۹/۹° شرقی ($\lambda$ = ۹۰° + ۳۹/۹° = ۱۲۹/۹°)، در زمانی که خورشید در سمت‌الرأس کعبه قرار دارد، آن را در آسمان خواهند دید. البته حدود این دونصف‌النهار برای نواحی استوایی است و مناطق مربوط، در نیمکرهٔ شمالی، در مشرق نصف‌النهار ۱۲۹/۹° شرقی و در مغرب نصف‌النهار ۵۰/۱° غربی نیز ادامه خواهد داشت و از وسعت مناطق مربوط، در نیمکرهٔ جنوبی، بطرف مغربِ نصف‌النهار ۱۲۹/۹° شرقی و بجانب مشرقِ نصف‌النهار ۵۰/۱° غربی، کاسته خواهد شد. در پاره‌ای از مناطق، خورشید در لحظهٔ قرارگیری در سمت‌الرأس کعبه، در حال طلوع و یا غروب خواهد بود. در ادامهٔ مطلب، در این بخش، راجع به‌مناطق تحت‌پوشش روش، بیشتر بحث خواهد شد.

بنابراین وقتی که روش، در تاریخهای ذکر شده بکار رود، بیشتر مناطق نیمکرهٔ شرقی[1] را دربر خواهد داشت. تقریباً این مناطق از طرف مغرب شامل: گرین‌لند[2]، منطقهٔ شرقی برزیل[3]، تمام قاره‌های اروپا و آفریقا، و از طرف مشرق، بیشتر قارهٔ آسیا تا مناطق شرقی شوروی، چین، ژاپن و بیشتر مناطق اندونزی و مناطق غربی استرالیا را شامل خواهد شد. روش، در تاریخهای مربوط، در بیشتر مناطق نیمکرهٔ غربی، ازقبیل: آمریکا، کانادا، منطقهٔ شرقی استرالیا، نیوزلند و اغلب مناطق آمریکای جنوبی، بجز مناطق شرقی برزیل، کاربرد نخواهد داشت.

اما اساس روش را، در تاریخهای دیگر، در نیمکرهٔ غربی هم می‌توان بکار گرفت و چنانکه تشریح خواهد شد، آن، وقتی است که خورشید در سمت‌القدم کعبه‌قرار گیرد. در حقیقت کاربرد این روش در نیمکرهٔ غربی، برای اولین‌بار است که در این کتاب بیان می‌گردد و قبلا درسایر منابع، راجع به کاربرد روش در تاریخهای دیگر، در نیمکرهٔ غربی، درحد اطلاع نگارنده، مطلبی نیامده است.

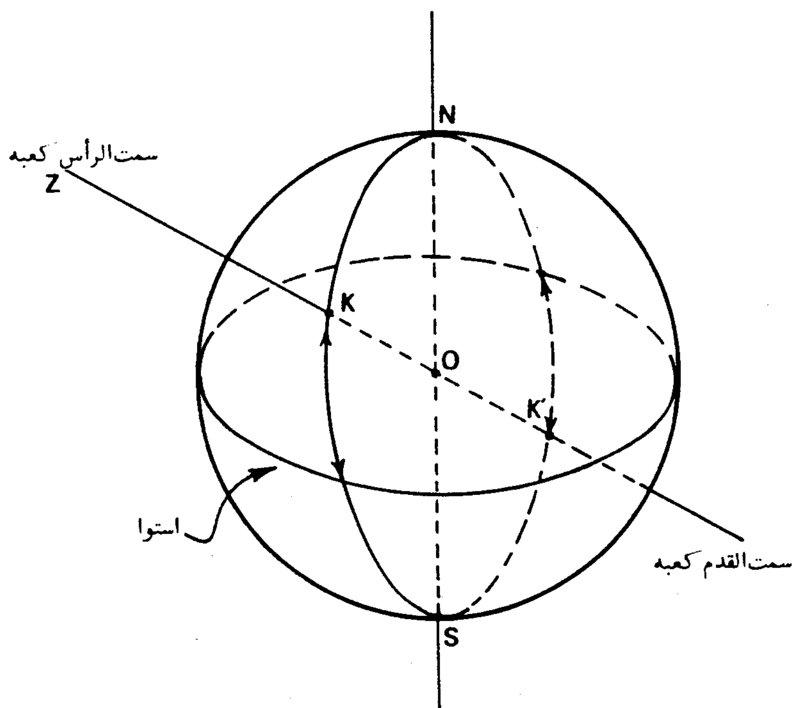
اساس روش، در نیمکرهٔ غربی، همانست که برای کاربرد روش در نیمکرهٔ شرقی بیان شده است. بر روی یک کره، کوتاهترین فاصله مابین دو نقطه، درامتداد کمانی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از دو نقطه می‌گذرد و چنانکه دیدیم، جهت قبله در هر

1.) Eastern Hemisphere 2.) Greenland 3. Brazil

نقطه‌ای در امتداد کمانی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از آن نقطه و کعبه می‌گذرد، البته درصورتیکه زمین را به‌شکل کرهٔ کاملی فرض کنیم، قطری از کرهٔ زمین که از کعبه می‌گذرد، همیشه در صفحهٔ دایرهٔ عظیمه مربوطه قرار خواهد داشت؛ این بدان معنی است که دایرهٔ عظیمه همیشه از نقطهٔ متقابل کعبه بر روی زمین خواهد گذشت، شکل (۲-۹). مختصات جغرافیایی نقطهٔ متقابل کعبه بر روی زمین، با فرض کروی‌شکل بودن زمین، به‌شرح زیر است:

$\varphi_{K'} = ۲۱^\circ\ ۳۰'$ جنوبی
$\lambda_{K'} = ۱۴۰^\circ\ ۶'$ غربی

این مختصات، مربوط به‌محلی در جنوب شرقی جزیرهٔ تاهیتی[1] در میان سلسله‌کوهها و تپه‌های توآموتو[2] واقع در اقیانوس آرام[3] است. هر دایرهٔ عظیمه‌ای که از




**شکل (۲-۹)— نقطهٔ متقابل کعبه بر روی زمین. نقطهٔ K' و کعبه در نقطهٔ K بر روی یک قطر قرار دارند و وقتیکه خورشید در سمت‌القدم کعبه (در نقطهٔ K) است، در نقطهٔ K' در سمت‌الرأس خواهد بود.**

1. Tahiti Island    2.)Tuamotu Ridge    3. Pacific Ocean

این نقطه بگذرد، از نقطهٔ متقابل آن، یعنی کعبه خواهد گذشت، البته درصورتیکه زمین به‌شکل کرهٔ کامل فرض شود. این مطلب قبلا هم در فصل پنجم در بخش (۱-۷-۵) نیز بیان شده است. و دیدیم که در این نقطه به هرسویی که ناظری بایستد، جهت او به‌سوی قبله خواهد بود. امّا در اینجا، این نکته مورد توجه نیست و منظور تعیین امتداد قبله از روی امتداد سایهٔ یک‌میلهٔ قائم در نیمکرهٔ غربی است. نقطهٔ‌متقابل کعبه را که شرح آن گذشت، می‌توان به‌منظور تعیین امتداد قبله، در بیشتر مناطق نیمکرهٔ غربی و یا مناطقی که امکان کاربرد روش در آنها، در تاریخهای تقریبی هشتم خرداد (بیست‌ونهم ماه مه) و بیست‌وپنجم تیر ماه (شانزدهم ژوئیه) ممکن نیست، بکار گرفت.

دوباره به‌جدول (۱-۶) در فصل ششم نظری می‌افکنیم، دیده می‌شود که میل خورشید در چهاردهم ماه ژانویه (بیست‌وچهارم دیماه در ۱۳۶۴) برابر $\delta = -21^\circ 27'$، و درسی‌ام نوامبر (نهم آذرماه در ۱۳۶۴) برابر $\delta = -21^\circ 33'$ است. این بدان معنی است که دوبار درسال، میل خورشید تقریباً برابر عرض جغرافیایی نقطهٔ متقابل کعبه بر روی زمین (جنوبی $\varphi_{K'} = 21^\circ 30'$) می‌شود؛ و یا بعبارت دیگر، دوبار درسال در این تاریخها، خورشید درسمت‌الرأس نقطهٔ متقابل کعبه قرار خواهد گرفت. وقتی که خورشید درسمت‌الرأس نقطهٔ متقابل کعبه قرار گیرد، در حقیقت در سمت‌القدم کعبه قرار دارد. بنابراین دوبار درسال، در نهم آذرماه و بیست‌وچهارم دیماه خورشید درسمت‌القدم کعبه قرار دارد، که یک‌بار زمانی که خورشید از اعتدال پاییزی (در اوّل پاییز) بسوی انقلاب زمستانی (در اوّل زمستان) می‌رود، و بار دیگر وقتی‌است که دوباره از انقلاب زمستانی، بسوی اعتدال بهاری برمی‌گردد.

چنانکه در این دو تاریخ و درلحظه های معین، امتداد سایهٔ نخ یک‌شاقول و یا یک میلهٔ قائم را تعیین کنیم، امتداد سایه، درجهت قبله خواهد بود. دلیل این کار همانست که درفصل پنجم داده شده است و تنها فرق موجود در این حالت اینست که برخلاف حالت‌قبلی که امتداد سایه، در جهت مخالف امتداد آن، بسوی قبله قرار می‌گرفت، خود امتداد سایه درجهت قبله قرارخواهد داشت.

تعیین زمان عبور خورشید از سمت‌القدم کعبه و یا سمت‌الرأس نقطهٔ متقابل کعبه، نیز مانند حالت قبلی است. چگونگی محاسبهٔ زمان مربوط، درطی مثالهای بعدی می‌آید.

**مثال (۱-۹)**—محاسبه کنید که خورشید در چه زمانی به‌وقت مونترال[1] در کانادا، در تاریخهای چهاردهم ژانویه و سی‌ام نوامبر، از سمت‌القدم کعبه عبور می کند.

**راه‌حل**—نصف‌النهار استاندارد وقت استاندارد در مونترال ۱۰۵ درجهٔ غربی است و بنابراین نصف‌النهار نقطهٔ متقابل کعبه (غربی ۶ °۱۴۰ = $\lambda_{K'}$) در مغرب آن قرار داشته و در نتیجه علامت LA در فرمول (۳-۱) منفی است، پس در چهاردهم ژانویه خواهیم داشت:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$۱۲ = ST - ۸/۸ - ۴ \times (۱۴۰°/۱ - ۱۰۵°)$$

بعدازظهر ۲۹/۲ دقیقه و ۲ ساعت = ST

در نتیجه، بدون در نظر داشتن تغییر ساعت، به‌منظور استفادهٔ بیشتر ازروشنایی روز، در چهاردهم ژانویه، زمانی خورشید به‌وقت استاندارد مونترال، در سمت‌القدم کعبه قرار خواهد گرفت، که ساعت ۲ و ۲۹/۲ دقیقهٔ بعدازظهر است، و این وقتی است که در این تاریخ می‌توان جهت قبله را از روی امتداد سایهٔ یک‌میلهٔ قائم تعیین کرد.

برای سی‌ام نوامبر خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + ۱۱/۵۵ - ۴ \times (۱۴۰°/۱ - ۱۰۵°)$$

بعدازظهر ۸/۸۵ دقیقه و ۲ ساعت = ST

زمان تقریبی قرارگرفتن خورشید در سمت‌القدم کعبه را نیز می‌توان به‌وقت گرینیچ محاسبه کرد:

**مثال (۲-۹)**—محاسبه کنید که در چه وقتی به‌وقت گرینیچ، خورشید در روزهای چهاردهم ژانویه و سی‌ام نوامبر، در سمت‌القدم کعبه قرار می‌گیرد.

**راه‌حل**—نصف‌النهار غربی ۱/ °۱۴۰ = $\lambda_{K'}$ در مغرب نصف‌النهار گرینیچ ($\lambda_G = ۰$) است، پس در چهاردهم ژانویه خواهیم داشت:

$$۱۲ = GMT - ۸/۸ - ۴ \times (۱۴۰°/۱ - ۰°)$$

بعدازظهر ۲۹/۲ و ۹ ساعت = GMT

برای سی‌ام نوامبر:

$$۱۲ = GMT + ۱۱/۵۵ - ۴ \times ۱۴۰°/۱$$

بعدازظهر ۸/۸۵ دقیقهٔ و ۹ ساعت = GMT

1.) Montreal

به‌همان دلیلی که در مورد قبلی ذکر شد (شکل (۱ـ۹))، در اینحالت، روش را می‌توان در بیشتر مناطق نیمکرهٔ غربی در جنوب مدار ۶۸°/۵ شمالی بکار گرفت. مناطقی که می‌توان روش را در چهاردهم ژانویه و سی‌ام نوامبر بکار گرفت، عبارتنداز: آمریکا، کانادا، نیوزیلند، بیشتر مناطق آمریکای‌جنوبی بجز مناطق شرقی برزیل ومناطق شرقی استرالیا.

در ابتدای این بخش، حدود مناطقی را که امکان کاربرد روش در آنها درهشتم خردادماه و بیست‌وپنجم تیرماه وجود دارد، نسبت به‌خط استوا تعیین کردیم. در اینجا راجع به‌چگونگی تعیین حدود مناطق، شرح بیشتری داده می‌شود. چنانکه قبلا هم‌اشاره شده حدود نصف‌النهارهای داده شده، فقط در مورد مناطق استوایی صدق می‌کند، زیرا طول شب و روز در آنها همیشه برابر است.

زاویهٔ ساعتی (h) خورشید را در لحظهٔ غروب و طلوع آن، یعنی موقعی که ارتفاع (a) آن صفر است، می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\cos h = -\tan\delta \tan\varphi \qquad (۹\text{-}۱)$$

این همان فرمول (۱۵ـ۶) است که در مطلب شمارهٔ (۳۹) در فصل ششم نیز داده شده است.

بنابراین کافی است که در هر عرض جغرافیایی، در شمال و یا جنوب استوا، زاویهٔ ساعتی طلوع و یا غروب خورشید را محاسبه کرده، آنگاه آن را به‌ساعت ظاهری محلی و سپس به‌وقت استاندارد تبدیل ساخت. پس از اعمال تصحیح لازم برای شکست نور، ساعت طلوع یا غروب خورشید را با ساعتی که خورشید در سمت‌الرأس کعبه قرار می‌گیرد، مقایسه کرد و بدینوسیله بسادگی می‌توان دریافت که آیاامکان کاربرد روش، در منطقه وجود دارد یا خیر؛ بعبارت دیگر، حدود منطقهٔ کاربرد روش، تا زمانی است که وقت قرارگیری خورشید بر سمت‌الرأس مکه، در هر محل، بین‌ساعات طلوع و غروب خورشید باشد.

ممکن است در پاره‌ای از مناطق ، ساعت طلوع و غروب خورشید برابر ساعت قرارگیری خورشید برسمت‌الرأس (سمت‌القدم) کعبه باشد. در چنین مناطقی، خورشید بهنگام طلوع و یا غروب درست در امتداد قبله قرار می‌گیرد که سمتِ (A) خورشید بهنگام طلوع و یا غروب و در نتیجه، جهت قبله در چنین مناطقی را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\cos A = \frac{\sin\delta}{\cos\varphi} = \sin\delta \sec\varphi \qquad (۹\text{-}۲)$$

این فرمول همان فرمول (۱۴-۶) است که در مطلب شمارهٔ (۳۹) در فصل ششم نیز داده شده است.

## ۴. اثر تصحیحات نجومی

تصحیحات نجومی در فصل ششم تشریح شد. اثر تصحیحات نجومی در نتیجهٔ این روش، موضوعی است که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که امتداد سایهٔ نخ یک‌شاقول، اساس روش را تشکیل می‌دهد لذا می‌بایست اثر تصحیحات نجومی بر روی سمت، مورد بررسی قرار گیرد.

وقتی که خورشید در سمت‌الرأس کعبه قرار می‌گیرد، ارتفاع ظاهری خورشید ۹۰ درجه خواهد بود و با توجه به‌فرمول (۲۹-۶) در فصل ششم، اثر شکست نور برابر صفر می‌شود. همچنین شکست نور اثری در سمت ندارد و لذا شکست آن تغییری در امتداد سایهٔ میلهٔ قائم یا نخ شاقول ایجاد نمی‌کند.

در حقیقت وقتی که لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النهار کعبه محاسبه می‌شود، لحظهٔ عبور برای گذر مرکز خورشید از نصف‌النهار محاسبه می‌گردد، و لذا زمانی که سایهٔ میلهٔ قائم در این لحظه گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، اثری در امتداد سایه، نخواهد داشت.

اختلاف منظر نیز تأثیری در سمت نداشته و در نتیجه روش اثر نخواهد داشت.

## ۵. اثر شکل زمین

اثرشکل زمین مهمترین مطلبی است که در اجرای این روش می‌بایست مورد رسیدگی قرار گیرد. چنانکه در فصل پنجم گفته شده است، اساس روش، بر این فرض است که زمین به‌شکل کره‌ای کامل باشد. در شکل (۳-۹)، زمین به‌شکل یک کرهٔ کامل با مرکز O فرض شده است. کعبه در نقطهٔ K و با سمت‌الرأس Z نشان داده شده، که در نتیجه، خط KZ از نقطهٔ O می‌گذرد. ناظری در نقطهٔ T با سمت‌الرأس $Z'$ ، بسوی کعبه ایستاده است که $TZ'$ نیز از نقطه O عبور می‌کند. با فرض کروی‌شکل بودن زمین، جهت قبله در نقطهٔ T در امتداد کمان $\widehat{TK}$ است که این کمان، قسمتی از دایرهٔ

1. Astronomical Corrections

**شکل (۳-۹) — وضعیت یک ناظر بر روی کرهٔ زمین نسبت به کعبه. ناظر واقع درنقطهٔ T ، نمی‌تواند کعبه را در نقطهٔ K ببیند، بلکه او فقط خواهد توانست نقطهٔ K′ بر روی خط OKZ را ببیند که خط OKZ ، خط واصل بین کعبه و سمت‌الرأس آنست.**

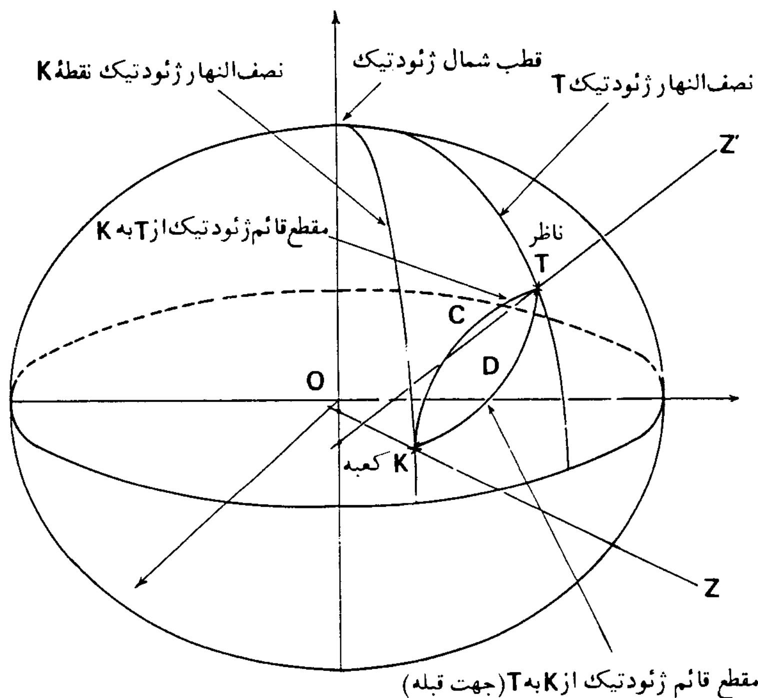
عظیمه‌ای است که از نقاط K و T می‌گذرد. نقطهٔ O و کمان $\widehat{TK}$ در یک‌صفحه (صفحهٔ OTK) قرار گرفته‌اند. همچنین خطوط OTZ′ و OKZ نیز در امتداد صفحه OKT واقعند. اما ناظر مستقر در نقطهٔ T ، همیشه در امتداد خط افق TH که عمود بر TZ′ و مماس بر کمان $\widehat{TK}$ است، بسوی کعبه می‌نگرد، لذا ناظر، قادر به‌دیدن نقطهٔ K نبوده بلکه درصورتیکه قادر بدیدن فواصل دور باشد، فقط خواهد توانست نقطهٔ K′ ، محل برخورد خط OKZ و TH را ببیند، که در اینصورت نقطهٔ K′ درست در بالای سر کعبه قرار دارد. قادر نبودن ناظر در دیدن کعبه، بعلت کروی بودن زمین است که در نتیجه، کمان $\widehat{TK}$ در زیر خطِ افقِ TH قرار می‌گیرد.

بنابراین با توجه به‌مطلب فوق، قائم کروی در نقطهٔ T (خط TOZ′ ) و قائم کروی در نقطهٔ K (خط OKZ ) همدیگر را در نقطهO ، در مرکز کره، قطع می کنند و

در یک صفحه قرار می‌گیرند. لذا صفحهٔ قائم در نقطهٔ T ، که از نقطه K گذر کند، بر صفحهٔ قائم در نقطهٔ K که از T عبور کند، منطبق می‌شود. این بدان معنی است که مقطع قائم کروی نقطهٔ T به‌نقطهٔ K و مقطع قائم کروی نقطهٔ K به‌نقطه T بر هم منطبق‌اند (کمان $\widehat{TK}$ ).

با فرض کروی شکل بودن زمین، چنانکه در فصل پنجم دیدیم، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، محاسبهٔ جهت قبله ساده است و با اشکالی مواجه نمی‌شود. اما چنانکه در فصل هشتم دیدیم، زمین به‌شکل کرهٔ کامل نیست و وقتی که امتداد سایهٔ یک میله قائم یا نخِ یک شاقول در نظر گرفته می‌شود، در حقیقت با شکل واقعی زمین سروکار داریم.

حال با تقریب بهتری، شکل زمین را به‌شکل یک شبه کرهٔ پخت (بیضوی دوار) فرض می کنیم. درشکل (۴ـ۹)، زمین، بصورت یک شبه کره با مرکز O نشان داده




شکل (۴ـ۹) — جهت قبله بر روی شبه کره.

شده است. کعبه در نقطهٔ K با سمت‌الرأس Z نمایانده شده و ناظری در نقطهٔ T با سمت‌الرأس 'Z به‌سوی قبله ایستاده است.

در این حالت، برخلاف حالت زمین کروی شکل، قائم ژئودتیک در نقطهٔ T (خط 'TZ)، قائم ژئودتیک در نقطهٔ K (خط KZ) را قطع نمی‌کند، چه دو خط 'TZ و KZ در یک صفحه قرار ندارند. بنابراین مقطع قائم ژئودتیک از نقطهٔ T به‌نقطهٔ K و مقطع قائم ژئودتیک از نقطهٔ K به‌نقطهٔ T برهم منطبق نیستند و در هر نقطه، دو مقطع قائم ژئودتیک موجود است (منحنیهای $\widehat{KCT}$ و $\widehat{KDT}$)، وجود دو مقطع قائم ژئودتیک در نقطهٔ T (محل ناظر) این ابهام را پیش می‌آورد که جهت قبله بر کدامیک از مقاطع قائم قرار می‌گیرد.

منحنی $\widehat{KDT}$، فصل مشترک سطح شبه کره با صفحهٔ قائم ژئودتیک در نقطهٔ K، است که از نقطهٔ T می‌گذرد. این بدان معنی است که منحنی $\widehat{KDT}$ و خط قائمِ ژئودتیکِ KZ در یک صفحه قرار دارند. همچنین منحنی $\widehat{KCT}$، فصل مشترک سطح شبه کره با صفحهٔ قائم ژئودتیک در نقطهٔ T است که از نقطهٔ K می‌گذرد، و این بدان معنی است که منحنی $\widehat{KCT}$ و خطِ قائم ژئودتیکِ 'TZ در یک صفحه قرار دارند. اما با توجه به‌آنچه که درمورد شکل (۳-۹) بیان شد، ناظر مستقر در T که بسوی کعبه می‌نگرد، خط دیدش در صفحهٔ افقِ ژئودتیک (صفحهٔ عمود بر قائم ژئودتیک در نقطهٔ T) قرار دارد و بعلت انحنای سطح، قادر به‌دیدن کعبه نیست و درصورتی که بتواند مسافتهای دوردست را ببیند، قسمت بالای قائم ژئودتیک کعبه را خواهد دید.

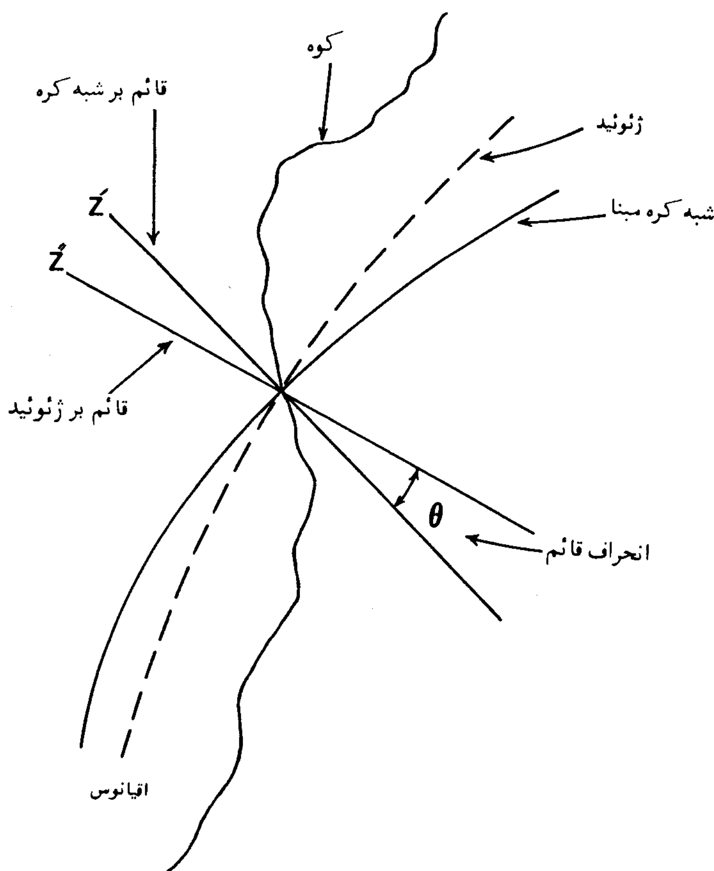
ازآنجایی که ناظر از نظر ابعاد، موجود کوچکی است، لذا می‌توان آن را بعنوان یک نقطه، مانند T فرض کرد. لذا جهت قبله در نقطهٔ T در امتداد منحنی $\widehat{KDT}$ خواهد بود که مقطع قائم ژئودتیک کعبه از نقطهٔ محل ناظر است. منحنی $\widehat{KCT}$ را نمی‌توان بعنوان جهت قبله بکار برد، زیرا نمی‌شود خط KZ را بعنوان یک نقطه در K فرض کرد، چه، ناظر قادر به‌دیدن آن نیست.

حال که معلوم شد جهت قبله در امتداد منحنی $\widehat{KDT}$ است، این سؤال باقی می‌ماند که چگونه می‌توان این جهت را در روش مورد نظر تعیین کرد.

صفحهٔ قائم ژئودتیک نقطهٔ K ازT، قائم ژئودتیک نقطهٔ T را در بر ندارد. بنابراین، صفحهٔ شامل منحنی $\widehat{KDT}$ و خط KZ، قائم ژئودتیک محل ناظر را در بر ندارد. در نتیجه، حتی اگر قائم ژئودتیک محل ناظر را در دست داشته باشیم، نمی‌توان از سایهٔ آن برای تعیین جهت قبله در تاریخهای محاسبه شده (هشتم خرداد، بیست‌و-

پنجم تیر، بیست‌وچهارم دی و نهم آذرماه) استفاده کرد. بعلاوه، قائم ژئودتیک خود یک امتداد فیزیکی معین نیست و فقط از طریق محاسبات ژئودتیکی، می‌توان امتداد آن را نسبت به‌قائم برسطح ژئوئید، تعیین کرد.

درشکل (۵-۹)، سه سطح مربوط به‌سه شکل مختلف زمین نمایانده شده است. سه سطح عبارتند از: شبه کرهٔ مبنا[1]، زمین‌گون (ژئوئید) و توپرگرافیک[2]. ′TZ قائم بر سطح شبه کرهٔ مبنا و ″TZ قائم بر سطح ژئوئید، رسم شده است. دو قائم رسم شده بر هم منطبق نیستند. زاویهٔ بین قائم برسطح ژئوئید و قائم برسطح شبه کرهٔ مبنا، انحراف قائم[3]، $\theta$ ، نامیده می‌شود.




**شکل (۵-۹)— انحراف قائم.**

1. Reference Spheroid 2.)Topographical Surface 3. Deflection of Vertical

امتداد مناسبی که می‌توان در روش مورد نظر، سایهٔ یک میلهٔ قائم را در راستای آن، برای تعیین سایه قرار داد، خطی است که از نقطهٔ T ، در شکل (۴-۹)، طوری رسم شود که در صفحهٔ قائم ژئودتیک نقطهٔ K از T قرار گرفته باشد. اما قرار دادن یک میله در چنین صفحه‌ای بسادگی ممکن نیست. در عمل، امتداد فیزیکی را که می‌شود در روش بکار برد، امتداد خط شاقول است.

شاقول[1] که برای همگان شناخته شده است، وسیله‌ای است که برای تعیین امتداد قائم در نقشه‌برداری، علوم مهندسی و در عملیات ساختمانی بکار گرفته می‌شود. شاقول از یک نخ و یک وزنه[2] که به‌انتهای نخ وصل می‌شود، تشکیل شده است و زمانی که وزنه توسط نخ آویزان می‌شود، نخ در امتداد قائم قرار می‌گیرد.

اما وزنهٔ شاقول بطرف مرکز ثقل[3] زمین جذب می‌شود و بجانب مرکز هندسی[4] آن جذب نمی‌گردد، بنابراین امتداد خط شاقول در جاهای مختلف بر روی زمین فرق می‌کند.

گاهی شاقول بر روی تخته باریکی نصب می‌شود که آن را خطکش شاقول[5] نامند.

افق محسوس در یک نقطه، بعنوان صفحهٔ مماس بر سطح زمین در آن نقطه و عمود بر امتداد شاقولی تعریف می‌گردد.

چون قرار است روش مورد نظر در سطح بین‌المللی بکار رود، لذا باید بهترین تقریب شکل زمین بکار گرفته شود. چنانکه در فصل هشتم بیان شد، چنین شکلی می‌تواند ژئوئید باشد که تقریباً برسطح آرام آب اقیانوسها منطبق است.

اما وقتی که ناظری در ارتفاع زیادی نسبت به‌سطح دریا قرار دارد و یک شاقول را بکار می‌برد، در حقیقت او با سطح ژئوئید سروکار ندارد، بلکه سطح مورد نظر او می‌تواند سطح هم‌پتانسیل باشد و صفحهٔ افق او افق نجومی است که بر امتداد شاقولی عمود بوده و یا بر سطح هم‌پتانسیل مماس است. همچنین در فصل هشتم بیان شد که وقتی قائم نجومی[6] و صفحهٔ قائم نجومی[7]، نسبت به‌سطح هم‌پتانسیل ناظر در نظر گرفته شوند به‌ترتیب ورتیکال[8] و صفحهٔ ورتیکال[9] نامیده می‌شوند.

1.) Plumb Line (Plummet)  2. Plumb Hob  3. Center of Mass
4. Geometrical Center  5. Plumb Rule
6. Astronomic Normal  7. Astronomic Normal plane  8. Vertical
9. Vertical plane

زاویه‌ای که خط قائم بر سطح هم‌پتانسیل (ورتیکال) کعبه با سطح استوای آنی[1] در لحظهٔ رصد در کعبه، می‌سازد، عرض نجومی[2] کعبه است—شکل (۱۴-۸) در فصل هشتم—.

لحظه‌ای که خورشید درست در ورتیکال کعبه قرار می‌گیرد، می‌بایست سایهٔ امتداد نخ شاقول، در جاهای دیگر، برای تعیین امتداد قبله بکار رود.

اما ورتیکال یک محل خاص، ممکن است ورتیکال کعبه را قطع نکند و یا بعبارت دیگر امتداد خط شاقولی در آن محل، امتداد خط شاقولی کعبه را قطع نکند، در نتیجه، دو امتداد شاقولی در یک صفحه قرار نمی‌گیرد و لذا امتداد سایهٔ نخ شاقول، دیگر امتداد دقیق قبله نخواهد بود. این مطلب بیشتر از هر نکتهٔ دیگری احتیاج به‌تحقیق گسترده‌دارد تاوقتیکه روش، درسطح بین‌المللی بکارمی‌رود، میزان دقت آن روشن باشد.

تا بحال با مطالعه‌ای که انجام داده‌ایم، امکان تعیین امتداد جهت قبله با سه روش، عملی است: یک روش از راه مثلثات کروی و با فرض اینست که زمین به‌شکل کرهٔ کامل باشد. روش دیگر با استفاده از محاسبات ژئودتیکی و با فرض بیضوی شکل بودن زمین است. روش آخر تعیین امتداد سایهٔ یک شاقول در اوقات معین است. این روش، بر مبنای تعیین امتداد سایهٔ نخ یک شاقول، بر روی افق محسوس یک نقطه استوار است، درحالی که خورشید بروِرتیکال کعبه‌قرارگرفته باشد. دیدیم که‌این روش دوبار درسال در بیشتر مناطق نیمکرهٔ شرقی و دوبار دیگر در بیشتر مناطق نیمکرهٔ غربی عملی است.

درطی این بحثها، مزایا و معایب هر روش، بیان شده و در اینجا به‌پاره‌ای از آنها اشاره‌ای می‌شود: محاسبات در روش تعیین قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، ساده است امّا فرض شکل زمین، بعنوان یک کرهٔ کامل، در مقایسه با سایر مدلها، دارای تقریب زیادی است. بعلاوه مختصات جغرافیایی که در این روش بکار می‌رود ممکن است بر مبنای شبه کره تعیین شده باشند و در این روش، عرض جغرافیایی به‌عرض زمین مرکزی[3] و یا عرض کاهش یافته[4]، که درفصل هشتم تشریح شد، تبدیل نمی‌شود. این مطلب نیز خود نیازمند تحقیق است، تا معلوم شود اثر کاربرد مختصات مختلف تا چه حد است.

1. Instantaneous Equator 2. Astronomic Latitude
3. Geocentric Latitude 4. Reduced Latitude

محاسبات در روش ژئودتیک، پیچیده‌تر ولی فرض شکل زمین بصورت یک شبه کرهٔ پخت، دارای تقریب بهتری است.

اما روش مورد نظر تعیین سایهٔ نخ شاقول در اوقات معین، روشی ساده است و هر کس می‌تواند آن را بکار گیرد. اما دقت کاربرد این روش در نقاط مختلف دنیا، هنوز تعیین نشده است.

تنها عیب این روش، شرایط جوی است که ممکن است هوا در وقت محاسبه شده، در محلی ابری باشد و مانع تعیین امتداد سایه گردد. مخصوصاً که در تاریخهای هشتم خرداد و بیست‌وپنج تیرماه در نیمکرهٔ جنوبی فصل زمستان در جریان است. و همچنین در تاریخهای بیست‌وچهارم دیماه و نهم آذر که در نیمکرهٔ شمالی فصل زمستان است و امکان تابش آفتاب در روزهای مربوط کمتر است. لذا رنگ صفحه‌ای که سایهٔ نخ شاقول بر آن می‌افتد، می‌بایست از رنگهای روشن انتخاب گردد تا امکان تعیین سایه در تابش کم‌آفتاب ممکن‌تر باشد.

## ۶. پیشنهاد یک برنامهٔ تحقیقات بین‌المللی

با توجه به‌آنچه که تا کنون بحث شد، یک برنامهٔ تحقیقات در سطح بین‌المللی را می‌توان به‌شرح زیر پیشنهاد کرد:

۱. تعیین مختصات نجومی کعبهٔ معظمه. در این اندازه‌گیری، در صورت دقت زیاد، می‌توان تغییرات عرض در اثر حرکات قطب را نیز در نظر داشت (مطلب شمارهٔ ۴، فصل اول).

۲. روشن ساختن این نکته که چندبار از گذشته تا به‌حال، خورشید دقیقاً بر روی ورتیکال کعبه (خط قائم بر صفحهٔ هم‌پتانسیل کعبه) قرار گرفته است. این مطلب با مراجعه به‌جداول نجومی سالهای قبل ممکن می‌گردد.

۳. مطالعهٔ بیشتر در زمینهٔ اثر تصحیحات نجومی در نتیجهٔ روش.

۴. انتخاب چند محل در سطح زمین با ارتفاع و ثقل مختلف در ممالک متعدد و تعیین قبله از سه راه مثلثات کروی، محاسبات ژئودتیک و تعیین امتداد سایه در اوقات معین. از مقایسهٔ نتایج، دقت کلی روشهای مختلف، آشکار خواهد شد. چون ثقل یک‌منطقه در امتداد خط شاقول تأثیر می‌گذارد، لذا انجام این اندازه‌گیریها، می‌بایست به همراه مطالعات ثقل زمین صورت پذیرد.

درصورتی که نتیجهٔ مطالعات نشان دهد که دقت روشِ تعیین جهت قبله از راه تعیین امتداد سایهٔ نخ یک شاقول در اوقات معین، درحد خوبی است، آنگاه ممالک مختلف می‌توانند با طرح یک برنامهٔ عمومی و اعلام اوقات معین محاسبه شدهٔ برحسب وقت استاندارد، از رادیوهای خود، مردم را به‌تعیین جهت قبله در خانه‌های خود دعوت کنند. همچنین در طی این برنامه، می‌توان جهات موجود قبله را که از سالیان پیش تعیین شده است، نیز کنترل کرد.

همچنین نتیجه تحقیقات، صحیح‌ترین روش تعیین جهت قبله را مشخص خواهد کرد که می‌توان آن را در تعیین جهت قبلهٔ بناها و مساجد جدید بکار گرفت.

انجام یک‌چنین برنامهٔ تحقیقات در سطح بین‌المللی، نیازمند همکاری افراد مختلف است؛ از جمله، می‌توان از متخصصان نجوم، نقشه‌برداری، ژئودزی، جغرافیا و مهندسان و غیره نام برد. مطالب شرعی مطالعات هم می‌تواند توسط عالمان مسائل دینی مورد راهنمایی قرار گیرد. انجام این تحقیق در یک دانشگاه معتبر بین‌المللی میسر است.

مراحل مختلف تحقیقات مذکور در فوق، فقط مراحلی است که در حال حاضر بنظر می‌رسد و در حین انجام تحقیقات ممکن است مراحل مختلف دیگری نیز آشکار گردد.

## ۷. کاربرد اساس روش، در ژئودزی

تغییر مداوم میل خورشید، نشانگر آنست که خورشید در هر لحظه دقیقاً بر روی سمت‌الرأس یک محلی بر روی زمین قرار می‌گیرد، البته این مطلب فقط برای مناطق واقع در بین دو مدار ۵/ °۲۳ شمالی و ۵/ °۲۳ جنوبی صادق است.

بنابراین با تعیین میل خورشید از روی جداول نجومی، می‌توان بسادگی معین کرد که در چه موقعی خورشید دقیقاً بر روی سمت‌الرأس نقطه‌ای مانند A، با طول و عرض معین قرار می‌گیرد. آنگاه از نقطهٔ دیگر با عرض و طول مشخص، بر روی زمین، مانند نقطهٔ B ، می‌توان جهت نقطهٔ A از نقطهٔ B را با استفاده از دو روش محاسبات مثلثات کروی و محاسبات ژئودتیکی بدست آورد. سپس نتایج بدست آمده را با امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم در نقطهٔ B ، در لحظهٔ مربوط، مقایسه کرد. تفاوت بین نتایج، نموداری از تفاوت موجود بین سطح هم‌پتانسیل و سطح کروی و بیضوی، در نقطهٔ B

خواهد بود.

## ۸. تذکر

پاره‌ای از خوانندگان نکته‌سنج ممکن است بر این باور باشند، که در نظر گرفتن چنین مطالب دقیق علمی آنهم در تعیین جهت قبله مورد نیاز نباشد. موضوع تعیین قبله یک بحث علمی است و در یک تحقیق علمی، نهایت دقت در کلیهٔ موارد، اصلی لازم‌الاجراست و ساده‌اندیشی مبنایی ندارد. متأسفانه موضوع قبله‌یابی در اغلب کشورهای اسلامی دچار ساده‌اندیشی شده است. دانشمند جهانی، ابوریحان بیرونی جهت قبلهٔ غزنین را در ده قرن قبل در نهایت دقت تعیین کرده است، اما امروز مشاهده می‌شود که اشتباهات موجود در جهت قبلهٔ پاره‌ای از مساجد و ابنیهٔ اسلامی غیر قابل اغماض است.

جا دارد موضوع قبله‌یابی در یک دانشگاه معتبر بین‌المللی مورد تحقیق و بررسی همه‌جانبه قرار گیرد.

**فصل دهم**

# روش های سادهٔ موجود در کتاب

این کتاب تا حد امکان برای استفادهٔ همگان تهیه شده است. و لذا افرادی ممکن است حوصله و وقت خواندن کلّیهٔ فصلها و بخشهای کتاب را پیدا نکنند و با این وجود علاقه‌مند باشند که با روشهای ساده‌ای، جهت قبله را پیدا کنند. تفصیل مطالب در این کتاب، بیشتر بعلت آماده شدن برای فهم فصل نهم است که یک برنامهٔ تحقیقات بین‌المللی را مطرح می‌سازد.

در این فصل مطالبی از کتاب که با استفاده از آنها، می‌توان بسادگی جهت قبله را تعیین کرد، مشخص می‌شود تا خواننده، با مراجعهٔ به‌آنها بتواند براحتی از کتاب استفاده کند.

## راهنمای استفاده از روشهای آسانِ کتاب، در قبله یابی:

برای تعیین جهت قبله باید مراحل زیر انجام گیرد:

**۱. تعیین مختصات جغرافیایی محل**—مختصات جغرافیایی محل را می‌توان از روی نقشه ها و یا اطلسهای جغرافیایی بدست آورد. در این مورد می‌شود به‌مطالب شمارهٔ (۲-۲) و (۲-۵) در فصل اوّل کتاب مراجعه کرد.

**۲. تعیین مختصات جغرافیایی کعبهٔ معظمه**—تا تعیین دقیق مختصات جغرافیایی کعبهٔ معظمه، می‌توان از مختصات داده شده در مطلب شمارهٔ (۴) در فصل پنجم استفاده کرد.

**۳. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل** —این مطلب به‌تفصیل در فصل دوّم بیان شده است. روشهای آسان آن در مطالب شمارهٔ ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷

و ۸ فصل دوم داده شده است.

**۴. تعیین جهت قبله با روش ترسیمی**—با در دست داشتن مختصات جغرافیایی محل و تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در محل، می‌توان جهت قبله را از راه ترسیمی با استفاده از روش داده شده در مطلب شمارهٔ (۲ـ۵)، در فصل پنجم، تعیین کرد.

در اینجا باید توجه داشت که برحسب فاصلهٔ نقطه مورد نظر تا مکه و چگونگی وضعیت قرارگیری محل بر روی زمین، نسبت به‌مکه، نتیجهٔ روش ترسیمی ممکن است تا حدی در خطا باشد. لذا باید نکات ذکر شده در مطلب شمارهٔ (۲ـ۵) در فصل پنجم مورد توجه قرار گیرد.

**۵. تعیین جهت‌قبله با استفاد ه ا زسایهٔ یک میلهٔ قائم د راوقات معین:** جهت قبله را می‌توان از راه تعیین امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم—دوبار در سال—در اوقات معین در نیمکرهٔ شرقی و دوبار دیگر در نیمکرهٔ غربی بدست آورد. تفصیل این روش، در مطلب شمارهٔ (۵ـ۵) فصل پنجم و در مطلب شمارهٔ ۳ فصل نهم، آمده است. اما قبل ازکاربرد این روش درسطح بین‌المللی، می‌بایست دقت روش، مورد تحقیق قرارگیرد (فصل نهم).

**۶. قبله‌نمای رزم‌آرا** —قبله‌نمای رزم‌آرا که در مطلب شمارهٔ (۶ـ۵)، فصل پنجم، تشریح شده است ، در مسافرت، وسیلهٔ بسیار خوبی است، اما بعلت استفاده از عقربهٔ مغناطیسی، می‌بایست بدوراز آهن‌آلات، وسایل برقی و میدانهای مغناطیسی دیگر از آن استفاده درد.

**۷. تعیین قبله با استفاده از یک کرهٔ جغرافیایی:** چنانکه یک کرهٔ جغرافیایی خوب و دقیقی در دسترس باشد، می‌توان از آن برای تعیین جهت قبله استفاده کرد. تفصیل روش درمطلب شمارهٔ (۴ـ۵)، درفصل پنجم بیان شده است.

پایان نسخهٔ دستنویس کتاب-مردادماه ۱۳۶۳

# فهرست منابع


۱. استروو، اتو(Otto Struve)، **مبانی نجوم**، ترجمهٔ ح. زمردیان و ب. حاجبی،تهران دانشگاه تهران، ۱۳۵۸.

۲. بغایری، عبدالرزاق، **معرفةالقبله**، تهران، ۱۳۷۱ ق.

۳. جعفری، عباس، **فرهنگ گیتاشناسی (اصطلاحات جغرافیایی)**، چ ۱، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۰.

۴. جعفری، عباس، **نقشه‌خوانی گیتاشناسی** ،چ ۱، تهران، گیتاشناسی، **۱۳۶۳.**

۵. دانشگاه تهران، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، **جداول میل مغناطیسی، ۱۳۴۲.**

۶. دگانی، مایر ( Meir Degani)، **نجوم به‌زبان ساده**، ترجمهٔ م. ر. خواجه‌پور، تهران گیتاشناسی، ۱۳۶۱.

۷. رزم‌آرا، حسینعلی، **رسالهٔ قبله‌نمای رزم‌آرا**، چ ۶، تهران، ۱۳۴۴

۸. ریاضی کرمانی، ع.، **حل‌المسایل نجوم،مثلثات کروی،تمرینات،جداول نجومی**، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۴۵.

۹. ریاضی کرمانی، ع.، **مقدمه‌ای بر نجوم عالی**، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۵۰

۱۰. علی احیایی، ماشاءالله، **ساعتهای خورشیدی،اصول و راهنمای ساخت**، تهران، امیرکبیر، ۱۳۶۴.

۱۱. علی احیایی، ماشاءالله، **جهت‌یابی و قبله‌یابی با روشهای آسان**،تهران،امیرکبیر، ۱۳۶۴.

۱۲. **واژگان فیزیک**، زیر نظر سیدمحمد امینی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۱.

13. Ali–Ahyaie, M., "*Using the International Communication and Timing Systems to Determine the Direction of 'Kibläh' Simultaneously in the World,*" Unpublished, 1984.

14. Ali–Ahyaie, M., "*An International Research Program to Study the Effect of the Actual Shape of the Earth in Finding the Direction of 'Kibläh'*'", Unpublished, 1984.

15. Ali–Ahyaie, M., "*Generalizing the Formula of Conversion of Standard Mean Time into Solar Time, According to Practical Astronomy*", Unpublished, 1984.

16. Ali–Ahyaie, M. "The Best Method of Using Sundials as Solar Compass" *Sun at work in Britain,* No. 19, 1984.

17. Ali–Ahyaie, M., "Determination of Longitude and Latitude in Remote Locations with Simple Devices," *Sunworld,* vol. 7, No. 3, Fall 1983.

18. Ali–Ahyaie, M., "Solar Compass, Determining True North by Sundials , *Sunworld,* Vol. 7, No. 4, Winter 1983.

19. Beiser, Arthur, *The Earth,* New York, Time Incorporated, 1962.

20. Brown, Martin, F. & Bailey Wayne, *Earth Science,* General Learning Press (U. S. A.), 1978.

21. Duffie, John, A. and Beckman, William, A., *Solar Engineering of Thermal Processes,* A Wiley–Interscience Publication, New-York, John Wiley and Sons, 1980.

22. Degani, Meir H., *Astronomy Made Simple,* New York, Doubleday & Company Inc., 1976.

23. *Encyclopedia Americana,* 1975.

24. *Encyclopedia of Science and Technology,* Mc Graw—Hill Book Company.

25.) Harrison, P. L., "A Device for Finding True North," *Solar Energy,* vol. 15, 1974, PP. 303–308.

26.) Higgins, Kathleen, "The Classification of Sundials," *Anals of Science,* VOL. IX, NO. 4, PP. 245–358, 1953.

27. Emrys, Jones, *The Atlas of World Geography,* London, Sundials Books Limited, 1977.

28. Kreider, Jan, F., and Kreith, F. *Solar Energy Handbook,"* Mc-Graw–Hill Inc., 1981.

29.) Mayall, R. Newton and Mayall, W. Margaret, *"Sundials: How To Know, Use and Make Them,"* 2nd ed., Cambridge, Sky Publishing Corporation, Cambridge, Massachusetts, Second Edition, 1973.

30.) Mueller, Ivan I., *Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy,* New York, Fredrick Ungar Publishing CO., 1969.

31. Newman, James R., *The Harper Encyclopedia of Science,* Harper and Row Publishers.

32. Punmia, B. C., *Field Astronomy and Photogrammetric Surveying,* (Surveying, V. III) 5th ed., Delhi Standard Book House, 1981.

33. Rapp, Donald, *Solar Energy,* Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc., 1981.

34. Shahani, P. B., *"Advanced Surveying,"* 2nd ed., New Delhi, Oxford and IBH Publishing CO., 1981.

35. Struve, Otto, *Elementary Astronomy,* New York, Oxford University Press Inc., 1968.

36. Waugh, Albert E., *Sundials–Their Theory and Construction,* New York, Dover Publications Inc., 1973.

37. Wienert, K. A., *Earth Science* **5**, *Geomagnetic Observatory and Survey Practice,* Unesco, 1970.

# فهرستِ اعلام

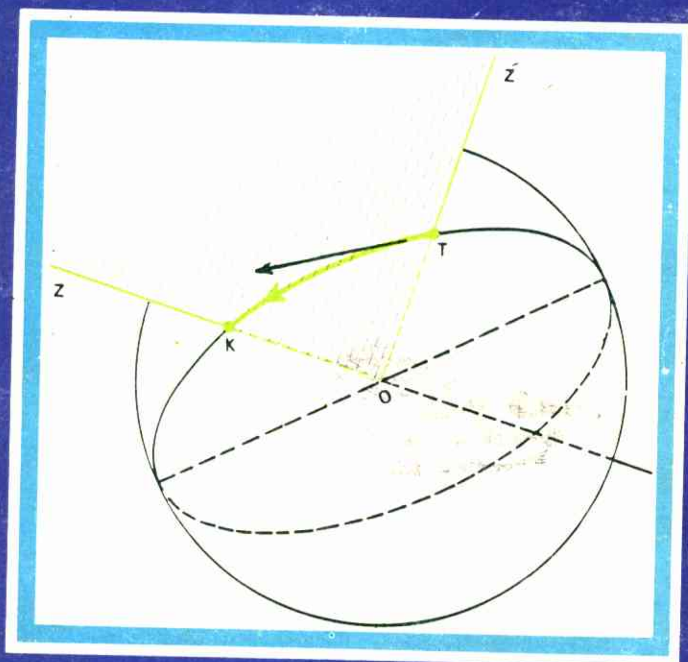
پ



ت

## ن

## و






٢٥٠٠

[redacted]